

# El metamorfismo hercínico de bajo a muy bajo grado en la Zona Cantábrica (Provincias de León, Asturias, Cantabria).

Por A. APARICIO (\*), J. M. BRELL (\*\*) y R. GARCIA (\*)

## RESUMEN

Se analizan los procesos metamórficos hercínicos y su transición a diagénesis en las series paleozoicas que constituyen la Zona Cantábrica. En función de las paragénesis encontradas y determinaciones de diferentes parámetros metamórficos se hace una evaluación de la intensidad del metamorfismo y su distribución en la secuencia paleozoica. Las características de este metamorfismo se comparan con las de otras áreas del Hercínico Ibérico.

*Palabras clave:* Metamorfismo, Bajo grado, Hercínico, Zona Cantábrica.

## ABSTRACT

The Hercynian metamorphic processes and its transition to diagenesis are described in the paleozoic series of the Zona Cantábrica structure. One evaluation of the intensity and features of this metamorphism is done in relation with the paragenesis and different metamorphic parameters. Finally, this metamorphism is compared against other low grade hercynian metamorphic areas in the Iberian Massif.

*Key words:* Metamorphism, Low grade, Hercynic, Zona cantábrica.

## INTRODUCCION

El área hercínica ibérica de la zona cantábrica (Z.C.) corresponde a una unidad que por sus características estructurales y estratigráficas ha sido ampliamente estudiada por numerosos autores. Una síntesis, relativamente reciente, de los aspectos estructurales y estratigráficos, puede encontrarse en JULIVERT (1983 a y b), RODRIGUEZ-FERNANDEZ (1983), PEREZ ESTAUN et al. (1988, 1991) y PEREZ ESTAUN y BASTIDA (1990) en cuanto a procesos deformativos y en PEREZ ESTAUN (1973), ZAMARREÑO (1983), JULIVERT y TRUYOLS (1983), TRUYOLS y JULIVERT (1983), JULIVERT et al. (1983), TRUYOLS (1983), SANCHEZ DE LA TORRE et al. (1983) para las descripciones estratigráficas del Paleozoico. En este sentido la Z.C. se esquematiza en un núcleo de edad carbonífera, rodeado por una secuencia

de materiales paleozoicos que alcanzan el Cámbrico y más problemáticamente a niveles que se consideran del Precámbrico. El conjunto de estos materiales se encuentra a su vez delimitado en zonas producidas por mantos de corrimiento y fuerte fracturación, que condicionan ampliamente la disposición de los materiales carboníferos (JULIVERT, 1983 a).

Sin embargo el aspecto temático que correspondería a la evaluación y determinación de los procesos metamórficos que afectan a la Z.C. en toda su extensión no ha sido tratado hasta la actualidad. Este hecho ha repercutido negativamente al querer relacionar el metamorfismo de este área con los procesos metamórficos que afectaron al resto del Macizo Hercínico Ibérico. Las propias características litológicas de los materiales paleozoicos que constituyen este sector, ha influido en la idea desarrollada por algunos autores, como PEREZ ESTAUN (1978), JULIVERT (1983 c), MARTINEZ y GIL IBARGUCHI (1983) de que, al menos para el Paleozoico Superior, se trata de áreas no metamórficas.

(\*) Dpto. de Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC. C/. José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid.

(\*\*) Dpto. de Estratigrafía, Instituto Geología Económica, CSIC. Univ. Complutense. 28040 Madrid.

A pesar de estas observaciones en contra de la existencia de metamorfismo, un primer trabajo en la cuenca carbonífera de Ciñera-Matallana realizado por GALAN et al. (1978) pone de manifiesto la existencia de un metamorfismo de bajo grado que afectaba al Carbonífero Superior. Trabajos posteriores y en áreas reducidas BRIME y PEREZ ESTAUN (1980); BRIME (1981,1985); GALAN et al. (1985); ALLER y BRIME (1985); GUTIERREZ y TAMARGO (1987) y ALLER et al. (1987) corroboran la existencia de estos procesos metamórficos de baja intensidad que afectan a todo el Paleozoico, incluyendo el Carbonífero, con niveles de bajo y muy bajo grado metamórfico, que le hace perfectamente correlacionable con el que se encuentra en unidades estratigráficas similares de otras áreas hercínicas.

#### MÉTODOS

La principal dificultad para el análisis metamórfico global de los materiales paleozoicos que constituyen la Z.C. reside en la escasa representatividad que presentan muchos de los niveles estratigráficos, y en segundo término, a la escasez de materiales pelíticos. Así el Ordovícico y Silúrico presentan litologías ricas en cuarzo que hacen escasamente muestreable estos períodos. En el Carbonífero, la extensión de las rocas carbonatadas hace igualmente difícil, en algunos sectores, el muestreo de rocas pelíticas; por el contrario, en el Precámbrico, Cámbrico y Devónico abundan este tipo de rocas.

En la selección de las muestras estudiadas se tuvieron en cuenta el tamaño de grano y que el contenido de carbonatos fuese inferior al 15 por 100 y de cuarzo el 25 por 100. En casos aislados se superaron estos valores en función de su representatividad.

De esta forma un total de 211 muestras se tomaron en los diferentes niveles estratigráficos, estudiándose por métodos ópticos y difracción de rayos X. Los parámetros metamórficos y paragénesis fueron exaludados a partir de difractogramas sobre polvo total y de agregados orientados, solvatación con etilenglicol y calentamiento de 550° según GALAN et al. (1978) y APARICIO et al. (1988).

El equipo utilizado corresponde a un difractóme-

tro Philips PW-1710 equipado con una fuente de radiación CuK $\alpha$  a 40 kw y 30 mA, monocromador de grafito y ventana de divergencia de 1°. Los agregados orientados fueron corridos de 2° a 20° con una velocidad de goniómetro de 2°/min. una CT 2, velocidad de papel 10 mm  $\times$  2° y un tamaño de paso 0,05°. Se tuvieron en cuenta las recomendaciones expresadas en KISH (1991) y las delimitaciones establecidas por DUNOYER DE SEGONZAÇ (1969), con el fin de poder comparar los resultados.

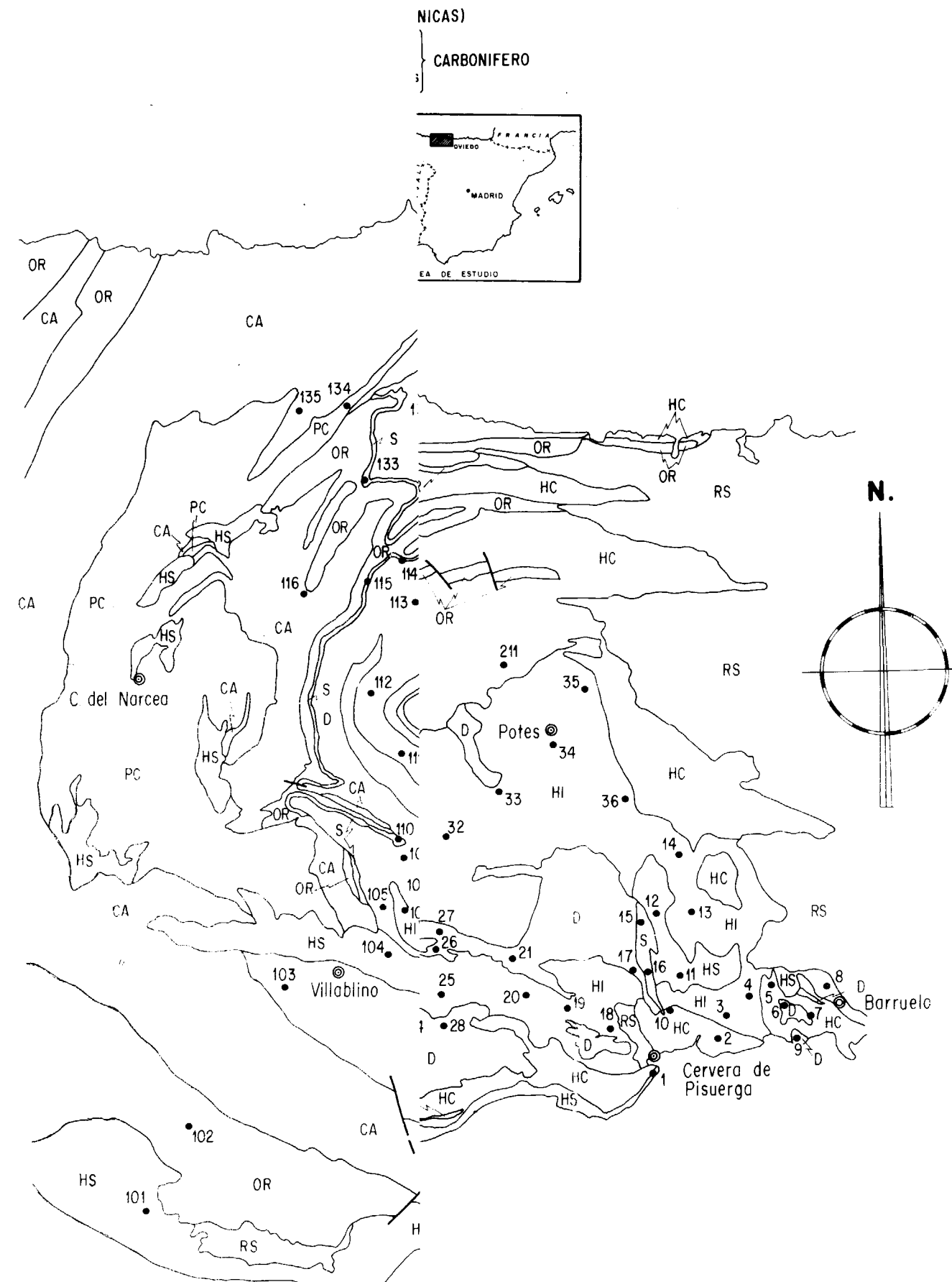
#### SECUENCIAS METAMORFICAS

En la figura 1 se ha representado la situación de las muestras sobre un esquema estratigráfico obtenido a partir de la cartografía geológica existente, tomando como base la publicada por el I.T.G.E. a escalas 1/200.000 y 1/50.000 (Serie Magna) en el área estudiada y alrededores.

En la tabla 1 se han representado las paragénesis de las rocas estudiadas, así como los principales parámetros con significado metamórfico, obtenidos a partir de difractogramas, y en función de su posición estratigráfica. Además se indican los índices de cristalinidad (I.C.) de la illita definido por KUBLER (1968) y WEAVER (1960), los valores de la reflexión (060), la relación 004/002 de las micas, politipo e índice de paragonitización.

En la figura 2 se han representado los I.C. de KUBLER según el diagrama de ESQUEVIN (1969) para cada sistema estratigráfico. La separación de las zonas metamórficas (epizona-anquizona) de las no metamórficas (diagénesis) y su distribución en los diferentes sistemas, indica que numerosas muestras se sitúan en los niveles considerados metamórficos, siendo este hecho más significativo para el Precámbrico, Cámbrico y Carbonífero, mientras que en el Ordovícico, Silúrico y Devónico se observa una mayor frecuencia en los niveles de carácter no metamórficos.

La dispersión entre muestras metamórficas y no metamórficas, según el I.C., es evidente para todos los niveles estratigráficos considerados, lo que permite apreciar que la transición entre las zonas metamórficas no es fija para cada período. Una representación planar de la variación de la intensidad del metamorfismo en función del I.C.



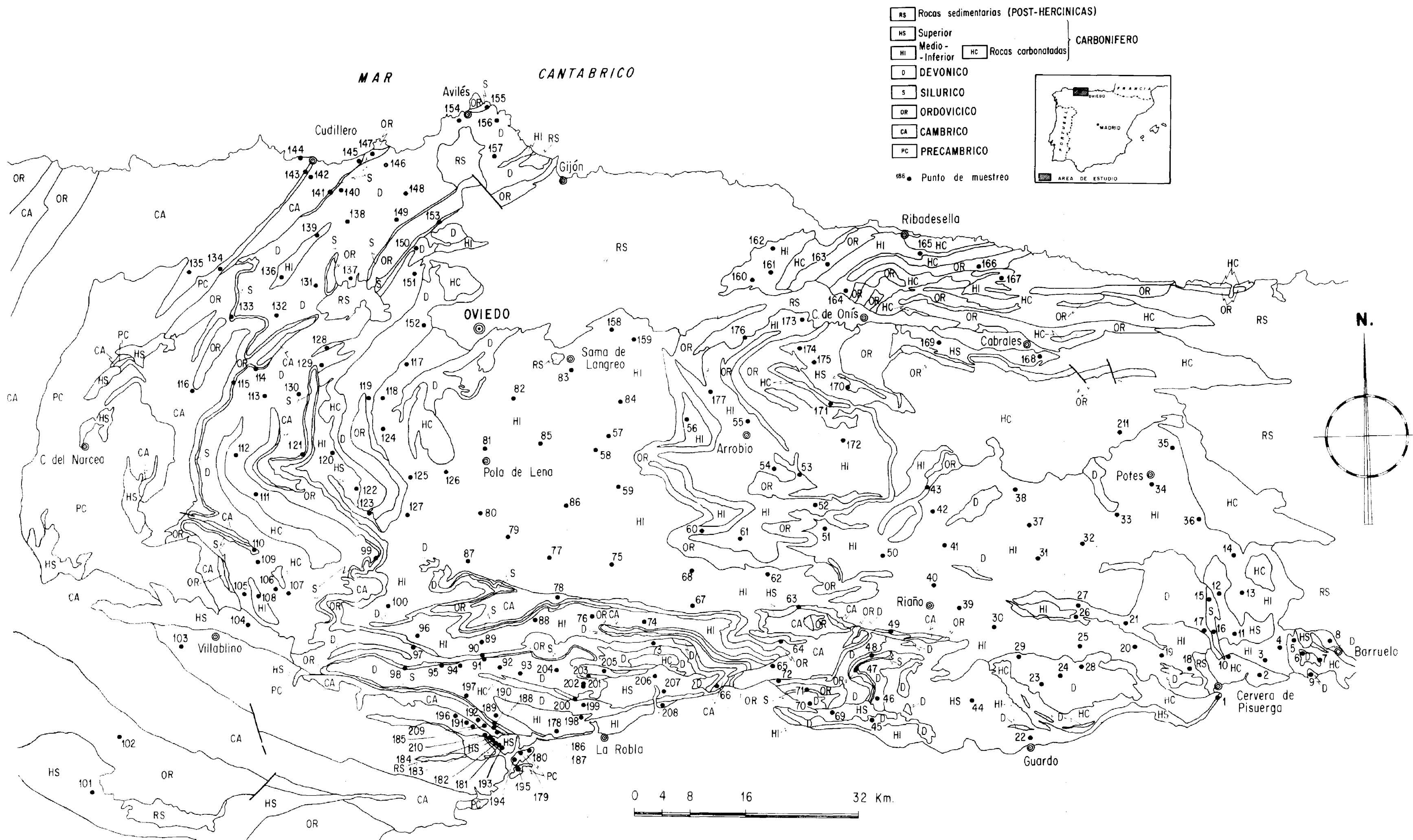


Figura 1.—Esquema geológico de la zona cantábrica (Z.C.) a partir de la cartografía a escala 1/200.000 y 1/50.000 (Serie Magna) publicada por el ITGE. Sobre el esquema se han localizado las muestras estudiadas

TABLA 1  
Composición de las muestras analizadas y principales parámetros de interés metamórfico

FELDESPAT.													INDICES				004	3,74	Politipo	Indice
Muestra	Cuarzo	Filosil.	K	Na-Ca	Otros	Mica	Caolinit.	Clorit.	Esme.	Inter.	Otros	Kubler	Weav.	060	0010	002	2,58	Moscovita	Paragon.	
P R E C A M B R I C O																				
103	26	67	—	7	—	54	26	20	—	—	—	3	6	1,508	1,995	0,41	0,56	100 % 2MI	—	
134	19	75	—	6	—	54	22	10	—	I/C	—	3	10	1,509	1,995	0,34	0,47	100 % 2MI	—	
143	22	72	—	6	—	56	18	26	—	14	—	2,5	4,6	1,511	1,998	0,40	0,44	100 % 2MI	—	
179	+	+	—	+	Cloritol.	75	16	9	—	—	—	4,5	2,5	1,504	1,995	0,24	0,38	100 % 2MI	—	
180	29	65	—	6		85	10	5	—	—	—	3,5	2,8	1,506	1,994	0,25	0,35	100 % 2MI	—	
185	25	75	—	—		68	20	12	—	—	—	6	4	1,504	1,996	0,26	0,32	90 % 2MI	—	
191	20	80	—	—		72	18	10	—	—	—	4	4	1,507	1,993	0,21	0,33	100 % 2MI	—	
194	22	72	—	6	—	50	28	22	—	—	—	4	6	1,510	1,994	0,40	0,28	72 % 2MI	—	
195	28	72	—	indic.	—	50	14	20	—	C/V	16	—	2,5	5,2	1,503	1,993	0,35	0,40	100 % 2MI	—
196	20	73	—	7	—	78	12	—	—	C/V	10	—	5	3,8	1,502	1,995	0,40	0,40	100 % 2MI	—
209	25	75	—	—	—	89	6	5	—	—	—	—	4,5	2,6	1,507	1,993	0,28	0,45	100 % 2MI	—
210	28	72	—	—	—	93	indic.	—	—	C/V	7	—	5	2,5	1,506	1,993	0,28	0,25	60 % 2MI	—
C A M B R I C O																				
49	11	89	indic.	—	—	100	—	indic.	—	—	—	8	1,6	1,502	1,991	0,25	0,26	64 % 2MI	0,18	
64	10	52	—	—	Calcita	—	—	—	—	—	—	ID	ID	1,506	1,993	—	0,32	90 % 2MI	—	
65	22	78	indic.	—		38	100	—	—	—	—	—	6	1,7	1,506	1,993	0,28	0,26	64 % 2MI	—
66	20	76	indic.	4	—	81	8	6	—	C/E	5	—	10	1,2	1,503	1,995	0,33	0,38	100 % 2MI	—
78	25	75	—	—	—	100	—	—	—	—	—	—	6	2,2	1,502	1,995	0,34	0,29	76 % 2MI	—
90	18	82	indic.	—	—	78	12	—	—	C/E	10	—	10	1,3	1,503	1,995	0,44	0,30	80 % 2MI	—
97	10	90	—	—	—	100	—	—	—	—	—	—	5	2,1	1,501	1,993	0,27	0,32	90 % 2MI	—
116	18	82	—	—	—	85	5	—	—	C/V	10	—	3,5	4	1,504	1,992	0,30	0,22	48 % 2MI	—
135	22	71	—	7	—	68	18	14	—	—	—	—	2,5	14	1,504	1,996	0,28	0,43	100 % 2MI	—
142	26	74	—	—	—	100	—	—	—	—	—	—	2,5	6,8	1,514	1,994	0,20	0,42	100 % 2MI	—
144	19	74	—	7	—	60	16	24	—	—	—	—	2	12	1,513	1,997	0,29	0,39	100 % 2MI	—
145	28	72	—	—	—	58	19	23	—	—	—	—	2,5	8,4	1,508	1,995	0,39	0,42	100 % 2MI	—
186	33	62	5	—	—	75	15	10	—	—	—	—	7	2,7	1,506	1,987	0,24	0,38	100 % 2MI	0,45
187	24	76	—	—	—	96	—	—	—	C/E	5	—	6,5	2	1,499	1,991	0,25	0,28	72 % 2MI	0,18
192	22	78	—	—	—	77	15	8	—	—	—	—	4,5	2,9	1,509	1,992	0,25	0,29	76 % 2MI	0,11
O R D O V I C I O																				
43	9	91	—	—	—	78	6	—	—	I/C	16	—	6	2,3	1,505	2,000	0,40	0,37	100 % 2MI	—
48	16	79	5	indic.	—	60	40	—	—	—	—	—	10	1,4	1,494	1,995	0,38	0,42	100 % 2MI	—
53	15	85	—	—	—	100	—	—	—	—	—	—	4,5	2,9	1,503	2,001	0,32	0,30	80 % 2MI	—
60	12	78	—	—	Calcita	78	10	12	—	—	—	6	2,1	1,507	1,995	0,28	0,32	90 % 2MI	—	
72	4	96	—	—		34	51	15	—	—	—	—	10	1,2	—	—	0,42	—	—	—
73	5	95	—	—	—	36	54	10	—	—	—	ID	ID	—	—	ID	—	—	—	
102	11	85	—	4	—	56	24	20	—	—	—	2,5	7,7	1,499	1,999	0,30	0,54	100 % 2MI	—	
163	28	72	—	—	—	92	8	—	—	—	—	7	2	1,506	1,993	0,28	0,28	72 % 2MI	—	
166	24	76	—	—	—	89	11	indic.	—	—	—	7	1,8	1,504	1,991	0,33	0,34	100 % 2MI	0,18	
188	26	74	—	—	—	100	—	—	—	C/E	indic.	—	6	2,1	1,501	1,994	0,26	0,26	64 % 2MI	—
203	36	53	11	—	—	89	11	indic.	—	—	—	8	1,5	1,501	1,992	0,23	0,32	90 % 2MI	0,11	
S I L U R I C O																				
15	9	91	—	indic.	—	80	5	15	—	—	—	5	2,6	1,504	2,000	0,4	0,25	60 % 2MI	—	
16	13	87	—	—	—	78	5	17	—	—	—	4	3,8	1,498	2,000	0,3	0,40	100 % 2MI	—	
47	6	82	6	—	—	90	5	—	—	I/E	5	—	7	1,8	1,501	1,993	0,38	0,33	100 % 2MI	—
71	10	85	5	—	—	81	19	—	—	—	—	11	1,4	1,503	1,995	0,37	0,25	60 % 2MI	—	
91	16	84	—	—	—	68	32	indic.	—	—	—	6	1,8	1,504	1,995	0,34	0,22	48 % 2MI	—	
95	5	95	—	—	—	82	12	—	6	—	—	10	1,7	1,506	1,995	0,30	0,33	100 % 2MI	—	
98	10	90	—	—	—	79	21	—	—	—	—	7	1,4	1,502	2,000	0,37	0,31	90 % 2MI	—	
99	4	96	—	—	—	82	18	indic.	—	—	—	12	1,3	1,504	1,993	0,40	0,35	100 % 2MI	—	
110	6	94	—	—	—	76	24	indic.	—	—	—	8	1,6	1,499	1,995	0,42	0,28	72 % 2MI	—	

FELDESPAT.											INDICES					004	3,74	Politipo	Indice
Muestra	Cuarzo	Filosil.	K	Na-Ca	Otros	Mica	CaolInit.	Clorit.	Esme.	Inter.	Otros	Kubler	Weav.	060	0010	002	2,58	Moscovita	Paragon.
115	22	78	—	—	—	75	14	—	—	—	Pirofil 11	5	2,2	1,501	1,995	0,34	0,31	90 % 2MI	—
121	10	90	—	—	—	76	18	—	—	C/E 6	—	8	1,5	1,500	1,992	0,44	0,26	64 % 2MI	—
133	8	92	—	—	—	67	27	indic.	—	—	Pirofil 6	7	2,8	1,500	2,000	0,40	0,23	52 % 2MI	—
141	20	80	—	—	—	78	9	—	—	C/V 12	—	2,5	9	1,506	1,997	0,36	0,48	100 % 2MI	—
147	20	80	—	—	—	76	10	—	—	C/V 14	—	4,5	1,6	1,505	1,991	0,32	0,35	100 % 2MI	—
153	7	93	—	—	—	100	—	—	—	—	—	10	1,3	1,504	1,997	0,40	0,25	60 % 2MI	—
155	36	64	—	—	—	89	5	—	—	—	Verm. 6	7	1,8	1,501	1,987	0,34	0,29	76 % 2MI	0,45
190	15	85	—	—	—	75	25	—	—	—	Pirofil indic.	9	1,8	1,500	1,991	0,38	0,35	100 % 2MI	0,18

## DEVONICO

6	14	74	—	—	Calcita 12	93	7	—	—	—	—	15	1,2	1,499	1,995	0,52	0,45	100 % 2MI	—
9	8	92	—	—	—	88	12	indic.	—	I/C indic.	—	13	1,5	1,501	1,991	0,52	0,53	100 % 2MI	0,18
17	8	92	—	—	—	78	—	22	—	—	—	6	2	1,495	1,991	0,35	0,26	64 % 2MI	0,18
21	20	80	—	—	—	56	16	28	—	—	—	3	6,1	1,517	2,000	0,37	0,39	100 % 2MI	—
23	6	94	—	—	—	25	8	—	—	—	Pirofil 67	5	2,7	1,493	—	0,26	—	—	—
24	+	+	+	—	Cloritoi. +	89	6	5	—	—	—	3,5	5	—	—	0,32	—	—	—
26	6	94	—	—	—	72	16	12	—	—	—	3	3,7	1,523	2,000	0,42	0,46	100 % 2MI	—
27	7	93	indic.	—	—	80	14	6	—	—	—	2	4,1	1,525	2,000	0,43	0,43	100 % 2MI	—
28	+	+	+	—	Cloritoi. +	82	8	10	—	—	—	3,5	4,9	—	—	0,32	—	—	—
29	19	76	—	5	—	70	17	13	—	—	—	3,5	4,3	1,500	1,999	0,26	0,45	100 % 2MI	—
45	15	85	—	—	—	62	33	5	—	—	—	12	1,2	1,499	1,995	0,40	0,25	60 % 2MI	—
46	7	81	—	—	Calcita 12	72	14	14	—	—	—	10	1,1	1,507	1,988	0,58	0,28	72 % 2MI	—
70	8	92	—	—	—	94	6	—	—	—	—	12	1,2	1,501	—	0,31	0,20	40 % 2MI	—
92	6	94	—	—	—	44	30	26	—	—	—	9	1,2	1,506	—	0,41	—	—	—
93	8	81	—	—	Calcita 11	54	32	14	—	—	—	9	1,5	1,507	—	0,32	—	—	—
94	6	94	—	—	—	52	34	indic.	—	C/E 14	—	8	1,3	—	—	0,26	—	—	—
105	15	85	—	—	—	100	—	—	indic.	—	—	10	1,2	1,500	1,993	0,30	0,17	30 % 2MI	—
106	13	88	—	—	Calcita 9	74	16	10	—	—	—	9	1,4	1,500	1,991	0,40	0,37	100 % 2MI	0,18
107	14	86	—	—	—	84	16	—	—	—	—	9	1,5	1,498	1,991	0,34	0,33	100 % 2MI	0,18
109	8	92	—	—	—	66	25	9	—	—	—	9	1,3	1,505	—	0,34	—	—	—
111	4	96	—	—	—	66	21	—	—	C/V 13	—	12	1,2	1,502	1,994	0,40	0,31	90 % 2MI	—
112	4	96	—	—	—	65	19	—	—	C/V 16	—	13	1,2	—	—	0,40	—	—	—
133	8	92	—	—	—	82	18	—	—	—	—	14	1,1	1,501	1,991	0,40	0,29	76 % 2MI	0,18
114	15	76	9	—	—	100	—	—	—	—	—	9	1,4	1,503	1,937	0,28	0,30	80 % 2MI	—
119	6	94	—	—	—	79	12	—	—	C/V 9	—	12	1,1	1,504	1,995	0,45	0,28	72 % 2MI	—
129	9	91	—	—	—	70	30	—	—	—	—	10	1,5	1,500	1,995	0,37	0,26	64 % 2MI	—
130	8	92	—	—	—	85	7	—	—	I/E 8	—	14	1,2	1,503	1,994	0,42	0,22	48 % 2MI	—
131	12	88	—	—	—	84	16	—	—	—	—	9	1,4	1,501	1,993	0,42	0,30	80 % 2MI	—
132	8	92	—	—	—	100	indic.	—	—	—	—	7,5	1,9	1,501	1,997	0,24	0,36	100 % 2MI	—
137	5	95	—	—	—	65	35	—	—	C/E indic.	—	ID	ID	1,503	1,992	—	0,20	40 % 2MI	0,11
138	24	76	—	—	—	87	13	—	—	—	—	10	1,7	1,501	1,989	0,30	0,32	90 % 2MI	0,32
140	10	90	—	—	—	100	indic.	—	—	—	—	3	4,8	1,510	1,994	0,26	0,38	100 % 2MI	—
146	9	91	—	—	—	92	8	indic.	—	—	—	10	1,5	1,502	1,991	0,25	—	—	0,18
148	18	82	—	—	—	83	5	—	—	C/V 12	—	11	1,4	1,497	1,987	0,32	0,34	100 % 2MI	—
149	5	95	—	—	—	92	8	—	—	—	—	9	1,8	1,503	1,995	0,26	0,26	64 % 2MI	—
150	6	94	—	—	—	80	12	—	—	C/V 8	—	12	1,6	1,507	1,991	0,31	0,30	90 % 2MI	0,18
152	9	91	—	—	—	77	14	9	—	—	—	12	1,6	1,505	1,987	0,48	0,24	56 % 2MI	—
154	12	88	—	—	—	86	8	6	—	—	—	5	3,4	1,503	1,991	0,30	0,35	100 % 2MI	0,18
156	13	87	—	—	—	78	14	—	—	C/E 8	—	7	1,5	1,500	1,990	0,42	0,31	90 % 2MI	0,25
157	10	90	—	—	—	88	12	—	indic.	—	—	10	1,2	1,497	1,991	0,30	0,35	100 % 2MI	0,18
189	18	82	—	—	—	71	21	indic.	—	—	Pirofil 8	7	2	1,499	1,995	0,27	0,30	80 % 2MI	—
197	24	74	—	—	—	80	12	—	—	—	—	9	1,2	1,498	1,990	0,27	0,29	76 % 2MI	0,25

Muestra	Cuarzo	Filosil.	FELDESPAT.					INDICES							004	3,74	Politipo	Indice	
			K	Na-Ca	Otros	Mica	Caolinit.	Clorit.	Esme.	Inter.	Otros	Kubler	Weav.	060	0010	002	2,58	Moscovita	Paragon.
199	27	73	—	—	—	76	17	—	—	C/V	—	6	2.1	1,506	1,995	0.38	0.32	90 % 2MI	—
201	37	55	—	8	—	20	78	12	—	7	—	ID	ID	—	—	—	—	—	—
202	16	84	—	—	—	—	68	—	—	I/E	—	ID	ID	—	—	—	—	—	—
204	9	91	—	—	—	12	82	6	—	32	—	ID	ID	—	—	—	—	—	—
205	2	92	—	—	—	14	74	—	—	C/V	—	ID	ID	—	—	—	—	—	—
										12									

## CARBONIFERO INFERIOR-MEDIO

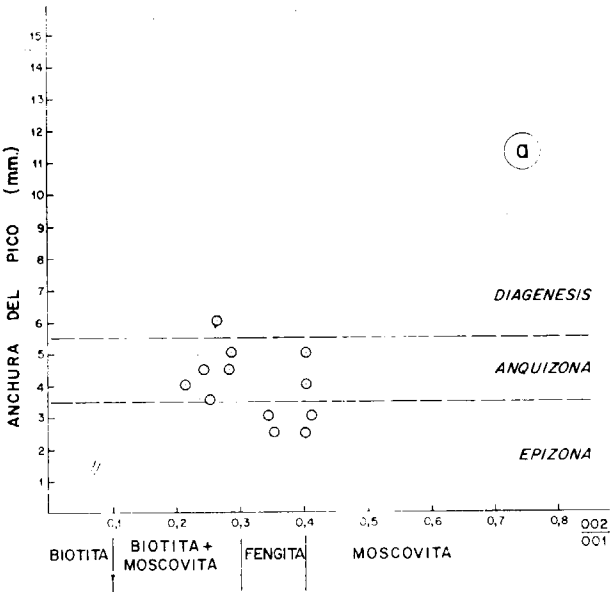
2	14	81	—	5	—	75	17	8	—	—	—	6	2	1,503	1,998	0,45	0,45	100 % 2MI	—	
3	14	82	—	4	—	66	15	19	—	—	—	4,5	3,1	1,500	1,991	0,42	0,42	100 % 2MI	0,18	
									I/C											
4	10	85	—	5	—	70	16	7	—	7	—	5	2,1	1,503	1,993	0,41	0,45	100 % 2MI	—	
5	8	92	—	—	—	92	8	—	—	—	—	15	1,2	1,502	1,995	0,50	0,50	100 % 2MI	—	
					Calcita															
7	13	69	—	5	13	87	6	7	indic.	—	—	15	1,1	1,499	1,991	0,45	0,48	100 % 2MI	0,18	
10	10	90	—	indic.	—	83	17	—	—	—	—	6	1,5	1,503	1,995	0,41	0,40	100 % 2MI	—	
13	14	86	indic.	indic.	—	77	5	18	—	—	—	7	1,8	1,501	1,994	0,4	0,52	100 % 2MI	—	
14	16	84	—	—	—	74	14	12	—	—	—	7	1,7	1,499	1,993	0,35	0,45	100 % 2MI	—	
18	12	84	4	—	—	66	25	9	—	—	—	4,5	3	1,499	1,995	0,35	0,45	100 % 2MI	—	
19	13	82	5	—	—	74	18	8	—	—	—	3,5	4,7	1,504	1,992	0,42	0,33	100 % 2MI	0,11	
20	14	81	5	—	—	80	12	8	—	—	—	5,5	2,5	1,496	2,001	0,36	0,36	100 % 2MI	—	
25	16	84	indic.	—	—	73	12	15	—	—	—	4,5	2,8	1,498	1,997	0,45	0,33	100 % 2MI	—	
30	12	88	—	—	—	74	16	16	—	—	—	3,5	3,8	1,500	2,000	0,35	0,30	80 % 2MI	—	
31	19	81	indic.	—	—	72	19	9	—	—	—	2,5	4,1	1,499	1,999	0,35	0,31	90 % 2MI	—	
32	16	84	—	—	—	89	5	6	—	—	—	6	2,1	1,500	1,997	0,30	0,38	100 % 2MI	—	
33	8	92	indic.	—	—	81	10	9	—	—	—	4,5	5,5	1,498	2,000	0,27	0,38	100 % 2MI	—	
34	6	94	indic.	—	—	68	22	10	—	—	—	5,5	2,2	1,498	1,995	0,37	0,36	100 % 2MI	—	
										Pirofil										
35	5	90	5	—	—	76	—	—	—	—	—	24	5	2,4	1,496	2,000	0,42	0,28	72 % 2MI	—
										Pirofil										
36	4	96	—	—	—	52	14	14	—	—	—	20	8	1,4	1,495	1,991	0,42	0,45	100 % 2MI	—
37	22	78	—	—	—	72	13	15	—	—	—		3	4,2	1,499	2,000	0,35	0,36	100 % 2MI	—
38	12	88	—	—	—	73	18	9	—	—	—		5	2,5	1,500	1,995	0,25	0,42	100 % 2MI	—
39	9	91	indic.	—	—	100	—	—	—	—	—		5	2,1	1,503	1,980	0,35	0,50	100 % 2MI	—
40	10	90	indic.	—	—	95	5	indic.	—	—	—		5	2,9	1,503	1,998	0,33	0,40	100 % 2MI	—
41	14	80	6	—	—	86	8	5	—	—	—		3,5	3,7	1,504	2,000	0,29	0,41	100 % 2MI	—
42	12	88	indic.	—	—	65	22	13	—	—	—		4	3,2	1,503	1,997	0,27	0,40	90 % 2MI	—
50	13	87	indic.	—	—	81	11	8	—	—	—		4,5	2,8	1,504	2,000	0,28	0,33	100 % 2MI	—
51	17	83	—	—	—	88	5	7	—	—	—		7	1,8	1,502	1,996	0,50	0,42	100 % 2MI	—
									I/C											
52	12	88	—	—	—	82	10	—	—	8	—	5	2	1,503	1,993	0,44	0,32	90 % 2MI	—	
54	12	88	—	—	—	73	15	12	—	—	—	5	2,1	1,501	1,996	0,32	0,28	72 % 2MI	—	
55	20	80	—	—	—	83	17	—	—	—	—	8	1,7	1,500	1,993	0,40	0,38	100 % 2MI	—	
									I/C											
56	14	86	indic.	—	—	69	8	—	—	—	—	7	1,9	1,505	2,000	0,42	0,33	100 % 2MI	—	
									I/C											
57	18	88	—	indic.	—	70	19	11	—	indic.	—	4,5	2,8	1,501	1,994	0,37	0,33	100 % 2MI	—	
									I/C											
58	13	87	—	—	—	58	20	22	—	indic.	—	4	2,2	1,501	1,996	0,28	0,33	100 % 2MI	—	
59	20	80	—	indic.	—	62	24	14	—	—	—	4,5	2,4	1,502	1,997	0,29	0,28	72 % 2MI	—	
61	8	92	—	—	—	81	12	7	—	—	—	5	2	1,505	1,995	0,32	0,30	80 % 2MI	—	
62	12	82	6	—	—	82	5	13	—	—	—	4	3,1	1,504	1,997	0,39	0,34	100 % 2MI	—	
67	16	80	4	—	—	64	20	16	—	—	—	3,5	4,2	1,501	1,998	0,45	0,34	100 % 2MI	—	
68	22	72	6	indic.	—	62	24	14	—	—	—	2,5	4,8	1,500	2,001	0,31	0,29	76 % 2MI	—	
74	12	88	—	indic.	—	74	11	15	—	—	—	4	2,4	1,506	1,995	0,37	0,34	100 % 2MI	—	
					Calcita															
75	7	52	—	—	41	100	—	—	—	—	—	4	4	1,508	2,001	0,45	0,38	100 % 2MI	—	
									C/E											
76	14	80	—	6	—	82	8	10	—	indic.	—	5	2,3	1,505	1,997	0,50	0,28	72 % 2MI	—	
77	23	77	indic.	—	—	68	16	16	—	—	—	3,5	3,1	1,501	2,000	0,36	0,40	100 % 2MI	—	
					Dolomit.															
79	10	76	6	—	8	68	18	14	—	—	—	4	3,8	1,500	2,001	0,31	0,35	100 % 2MI	—	
					Dolomit.															
80	11	75	—	—	11	80	12	8	—	—	—	6	2	1,505	1,995	0,26	0,40	100 % 2MI	—	
81	12	88	—	indic.	—	72	18	10	—	—	—	6	1,5	1,503	1,995	0,37	0,32	90 % 2MI	—	
82	18	82	indic.	—	—	75	16	9	—	—	—	3,5	3,5	1,502	1,997	0,44	0,48	100 % 2MI	—	
83	16	84	—	indic.	—	60	17	23	—	—	—	4	3,4	1,505	1,999	0,42	0,40	100 % 2MI	—	
84	11	89	indic.	—	—	58	18	24	—	—	—	4	2,4	1,503	2,000	0,29	0,33	100 % 2MI	—	
85	10	90	—	—	—	71	9	20	—	—	—	4,5	2,8	1,502	1,999	0,30	0,36	100 % 2MI	—	
86	13	87	indic.	—	—	72	12	16	—	—	—	6	2,8	1,503	1,996	0,32	0,29	76 % 2MI	—	
87	16	77	—	7	—	96	4	indic.	—	—	—	3,5	4,7	1,502	1,996	0,23	0,40	100 % 2MI	—	
									C/V											
88	21	79	—	—	—	62	14	12	—	12	—	8	1,8	1,502	1,995	0,35	0,20	40 % 2MI	—	
89	22	78	—	—	—	62	20	18	—	—	—	11	1,1	1,506	1,995	0,31	0,40	100 % 2MI	—	

FELDESPAT.										INDICES						004		3,74	Politipo		Indice
Muestra	Cuarzo	Filosil.	K	Na-Ca	Otros	Mica	Caolinit.	Clorit.	Esme.	Inter.	Otros	Kubler	Weav.	060	0010	002	2,58	Moscovita	Paragon.		
CARBONIFERO INFERIOR-MEDIO (cont.)																					
96	15	67	—	—	Calcita 18	78	10	7	—	C/E 5	—	8	1,3	—	—	0,26	—	—	—		
100	12	79	—	—	Calcita 9	79	15	6	—	—	—	12	1,3	1,502	1,995	0,40	0,30	80 % 2MI	—		
108	12	88	—	—	—	72	18	10	—	—	—	8	1,5	1,497	2,000	0,35	0,35	100 % 2MI	—		
117	15	85	—	—	—	85	10	—	—	C/V 5	—	14	1,5	1,501	1,991	0,32	0,32	90 % 2MI	—		
118	17	83	—	—	—	80	8	—	—	C/V 12	—	10	1,6	1,502	1,989	0,42	0,25	60 % 2MI	0,32		
120	14	86	—	—	—	70	30	—	—	—	—	ID	ID	1,505	—	—	—	—	—		
122	16	84	—	—	—	73	17	—	—	C/E 10	—	11	1,2	1,501	1,991	0,40	0,31	90 % 2MI	0,18		
124	9	91	—	—	—	80	12	indic.	—	C/E 8	—	10	1,8	1,500	1,987	0,38	0,27	68 % 2MI	0,45		
125	7	93	—	—	—	82	8	—	—	C/E 10	—	10	1,7	1,499	1,993	0,38	0,32	90 % 2MI	—		
126	21	79	—	—	—	68	18	14	—	—	—	5	2,1	1,504	1,993	0,45	0,35	100 % 2MI	—		
127	17	83	—	—	—	76	8	indic.	—	C/V 16	—	14	1,2	1,500	1,994	0,38	0,38	100 % 2MI	—		
128	15	85	—	—	—	80	5	—	—	C/V 15	—	9	1,6	1,501	1,991	0,38	0,37	100 % 2MI	0,18		
136	18	82	—	indic.	—	72	20	—	—	C/E 8	—	11	1,2	1,504	1,993	0,36	0,33	100 % 2MI	—		
139	14	86	—	—	—	85	8	—	—	—	Verm 17	11	1,4	1,501	1,992	0,36	0,36	100 % 2MI	0,11		
151	15	85	—	—	—	74	8	—	—	E/V 18	—	18	2	1,503	1,987	0,37	0,24	56 % 2MI	—		
158	24	76	—	—	—	73	10	12	—	C/V 5	—	4,5	2,4	1,502	1,996	0,35	0,34	100 % 2MI	—		
159	25	75	—	—	—	14	15	11	—	—	—	6	2	1,502	1,993	0,35	0,36	100 % 2MI	—		
160	32	68	—	—	—	83	12	5	—	—	—	8	1,5	1,505	1,992	0,40	0,29	76 % 2MI	0,11		
161	21	79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	1,6	1,507	1,990	0,42	0,40	100 % 2MI	0,25		
162	24	76	—	—	—	81	10	—	—	C/V 9	—	7	1,6	1,503	1,997	0,32	0,31	90 % 2MI	—		
164	16	84	—	—	—	74	18	—	—	C/V 8	—	5	2	1,503	1,993	0,35	0,35	100 % 2MI	—		
165	15	85	—	—	—	62	20	18	—	—	—	7	1,7	1,503	1,997	0,42	0,38	100 % 2MI	—		
167	22	88	—	—	—	77	13	—	—	C/V 10	—	7	2	1,506	1,999	0,44	0,34	100 % 2MI	—		
171	23	72	—	—	—	84	8	—	—	C/V 8	—	5	2,1	1,505	1,996	0,44	0,42	100 % 2MI	—		
172	16	84	—	—	—	86	7	—	—	C/V 7	—	6	2	1,505	1,997	0,36	0,40	100 % 2MI	—		
173	15	85	—	—	—	77	14	—	—	C/V 9	—	5,5	2,1	1,506	1,996	0,31	0,32	90 % 2MI	—		
174	12	88	—	—	—	72	18	—	—	C/V 10	—	6	2,1	1,506	1,998	0,30	0,42	100 % 2MI	—		
175	14	86	—	—	—	84	7	—	—	C/V 9	—	6	2	1,505	1,996	0,40	0,32	90 % 2MI	—		
176	26	74	—	—	—	63	16	21	—	—	—	4	3,2	1,506	1,996	0,40	0,38	100 % 2MI	—		
177	32	68	—	—	—	63	18	19	—	—	—	3,5	3	1,504	1,996	0,38	0,38	100 % 2MI	—		
178	40	51	—	9	—	80	10	10	—	—	—	7	1,7	1,504	1,991	0,35	0,40	100 % 2MI	0,18		
198	14	28	—	—	Siderita 58	85	8	7	—	—	—	9	1,2	—	—	0,32	—	—	—		
208	22	74	—	4	—	70	15	—	—	C/V 15	—	7	3,1	1,506	1,995	0,31	0,40	100 % 2MI	—		
211	18	74	—	—	Calcita 8	79	3	13	—	—	—	9	1,6	1,502	—	0,44	0,32	90 % 2MI	—		
CARBONIFERO SUPERIOR																					
1	15	85	indic.	—	—	84	6	10	—	—	—	4,5	2,5	1,506	1,994	0,40	0,46	100 % 2MI	—		
8	10	90	—	—	—	84	5	6	indic.	—	Pirofil 5	8	1,6	1,506	1,996	0,46	0,52	100 % 2MI	—		
11	9	91	—	—	—	94	6	—	—	—	—	9	1,6	1,502	1,998	0,5	0,30	80 % 2Mt	—		
12	12	88	indic.	—	—	70	11	5	—	—	Pirofil 14	4	2,9	1,499	1,991	0,4	0,36	100 % 2MI	—		
22	21	89	indic.	—	—	70	12	11	—	—	Pirofil 7	4	2,8	1,499	2,000	0,40	0,36	100 % 2MI	—		
44	21	79	—	—	—	66	20	14	—	—	—	6	3,3	1,499	1,995	0,32	0,48	100 % 2MI	—		
63	13	87	indic.	—	—	76	8	8	—	—	I/C 8	5	2,3	1,503	1,994	0,37	0,34	100 % 2MI	—		
69	19	81	indic.	indic.	—	66	24	10	—	—	—	4,5	2,4	1,504	1,996	0,34	0,25	60 % 2MI	—		
101	9	81	—	—	—	100	—	indic.	—	—	—	7	2,2	1,501	1,998	0,38	0,48	100 % 2MI	—		
104	10	90	—	indic.	—	78	14	8	—	—	—	4	4	1,501	1,994	0,32	0,28	72 % 2MI	—		

Muestra	Cuarzo	Filosil.	FELDESPAT.			Mica	Caolinit.	Clorit.	Esme.	Inter.	Otros	INDICES		004	3,74	Politipo	Indice
			K	Na-Ca	Otros							Kubler	Weav.				
123	19	81	—	—	—	83	5	—	—	C/E 12	—	6	2	1,501	1,994	0,42	100 % 2MI
168	13	54	—	—	Calcita 33	92	8	—	—	—	—	6	2	1,505	1,997	0,38	100 % 2MI
169	26	62	—	—	Calcita 12	78	19	12	—	—	—	6	1,8	1,508	1,998	0,27	100 % 2MI
170	20	80	—	—	—	66	20	14	—	C/V incid.	—	6	2,4	1,505	1,996	0,40	100 % 2MI
181	33	67	—	indic.	—	60	23	17	—	—	—	4	2,8	1,509	1,993	0,26	100 % 2MI
182	+	+	—	+	Cloritoi.	78	14	8	—	—	—	5	1,9	1,505	1,993	0,48	100 % 2MI
183	30	65	—	5	—	67	21	12	—	—	—	5	3,2	1,507	1,991	0,29	100 % 2MI
184	28	64	—	8	—	65	24	11	—	—	—	6	3,3	1,507	1,996	0,30	56 % 2MI
193	24	70	—	6	—	54	22	24	—	—	—	3	4,8	1,507	1,992	0,27	100 % 2MI
200	25	75	—	—	—	79	16	—	—	I/E 5	—	4	2,7	1,508	1,993	0,36	90 % 2MI
206	26	74	—	—	—	59	22	19	—	—	—	3,5	2,8	1,507	1,990	0,32	90 % 2MI
207	19	76	—	5	—	72	14	—	—	C/V 14	—	5	2,5	1,504	1,991	0,20	80 % 2MI

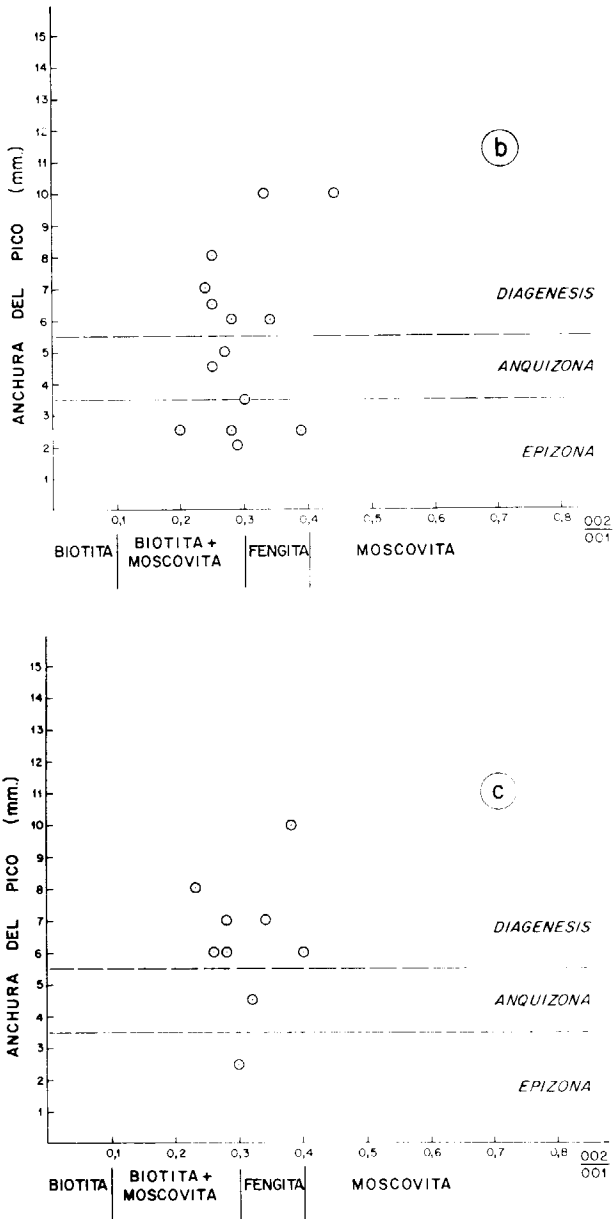
Explicación:

Indic.	= Indicios	V	= Vermiculita=Verm.
ND	= No determinado	Caolinita	= Caolinit.
++	= No cuantificado	Pirofilita	= Pirofil.
Interest.	= Interestratificados=	Filosilicatos	= Filosil.
I	= Illita	Cloritoide	= Cloritoi.
C	= Clorita	Clorita	= Clorit.
E	= Esmeclita=Esmecl.	Dolomita	= Dolomit.



se expresa en la figura 3. Para el Precámbrico se observa que la máxima intensidad metamórfica se sitúa en el sector oeste de la zona, con una tendencia (positiva) al aumento representada en el Precámbrico aflorante al oeste de La Robla.

El Cámbrico refleja la misma tendencia de aumento del metamorfismo hacia el oeste y NO, con mínimos concentrados en el sector sur. Aun-



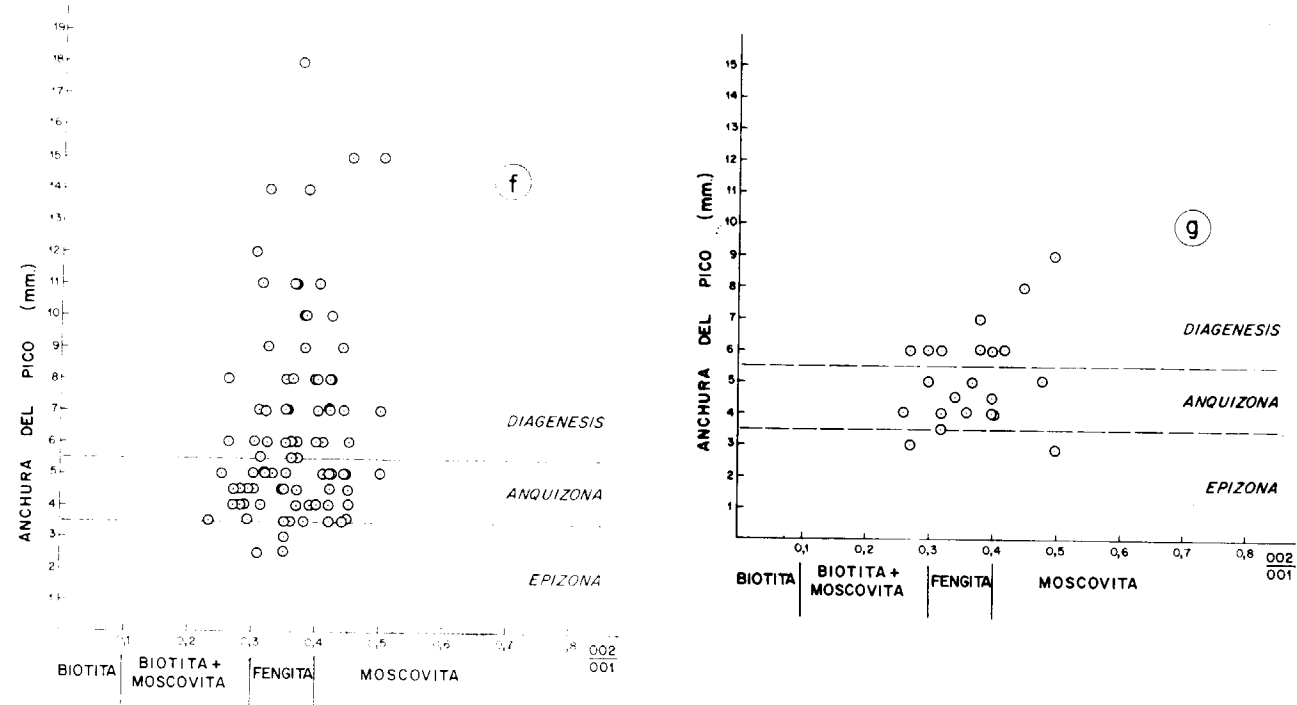
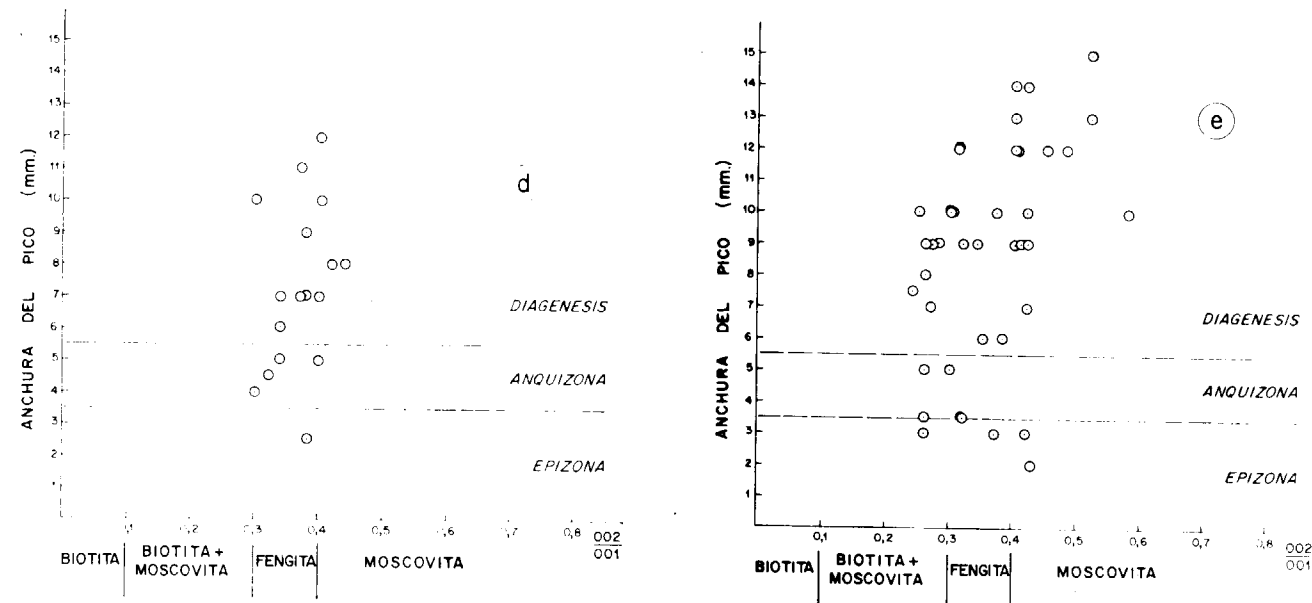
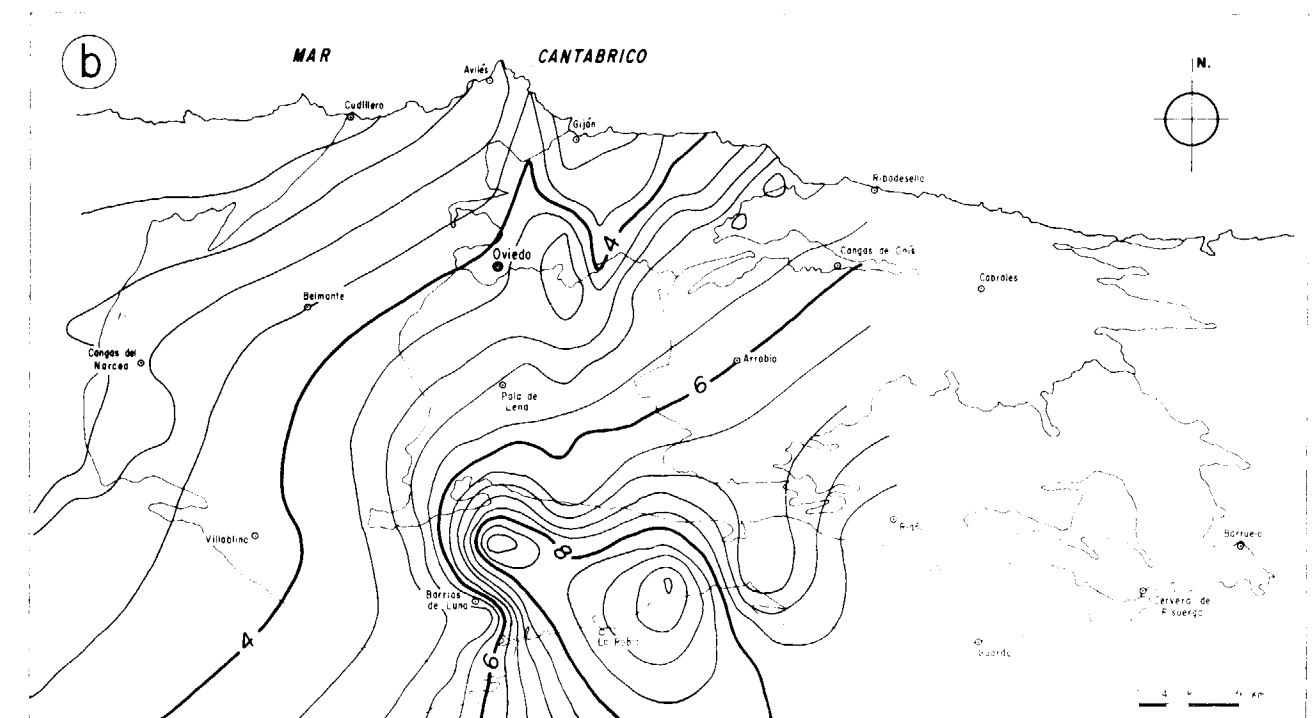
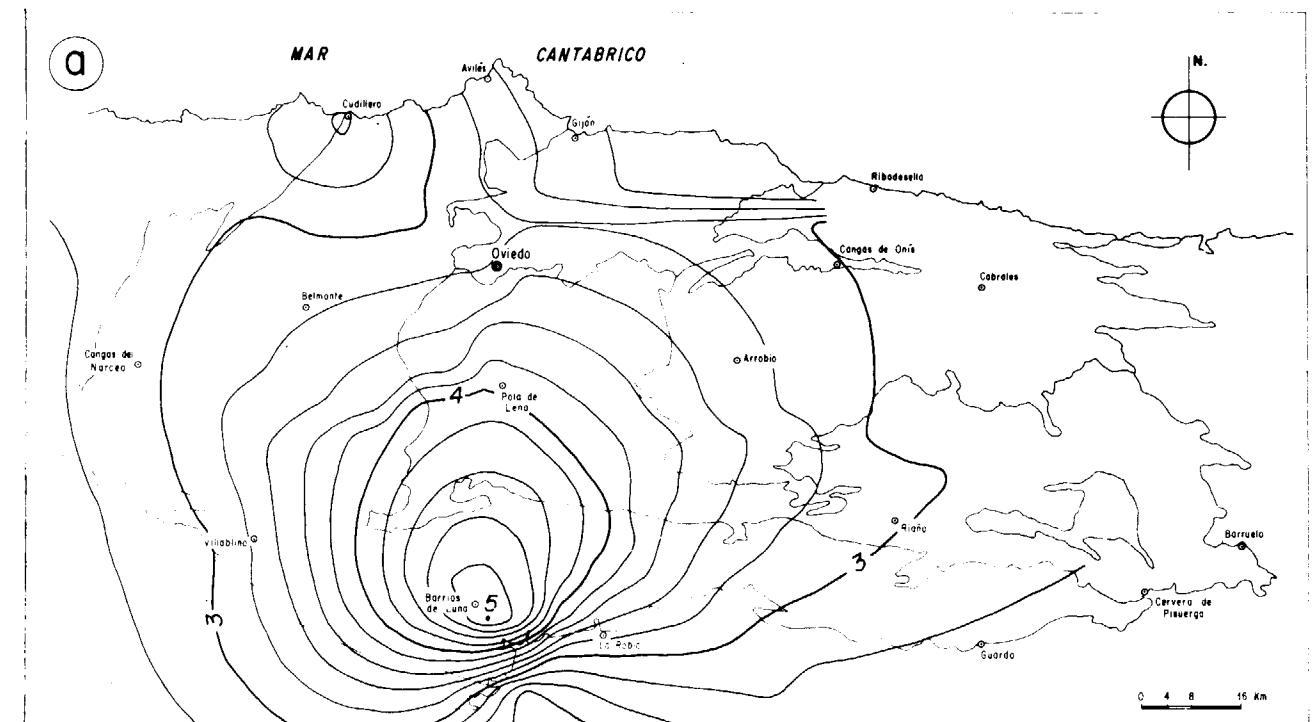
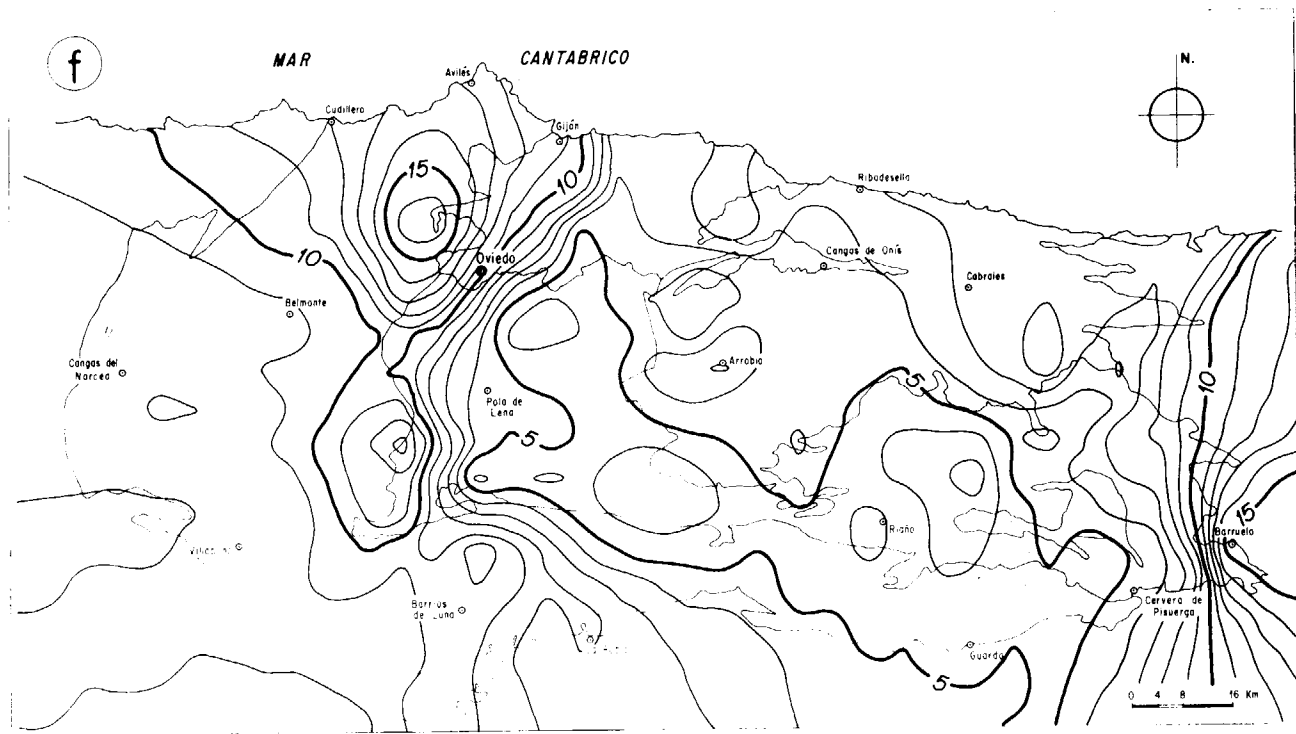
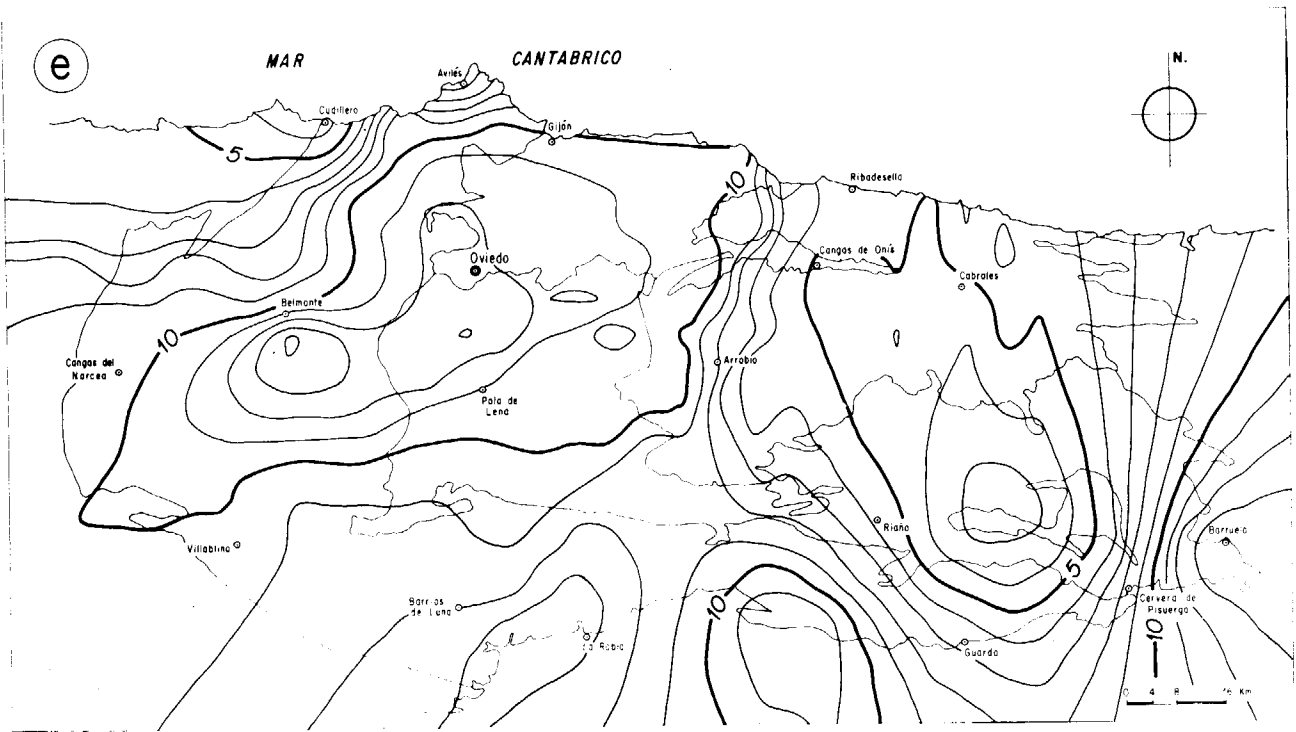
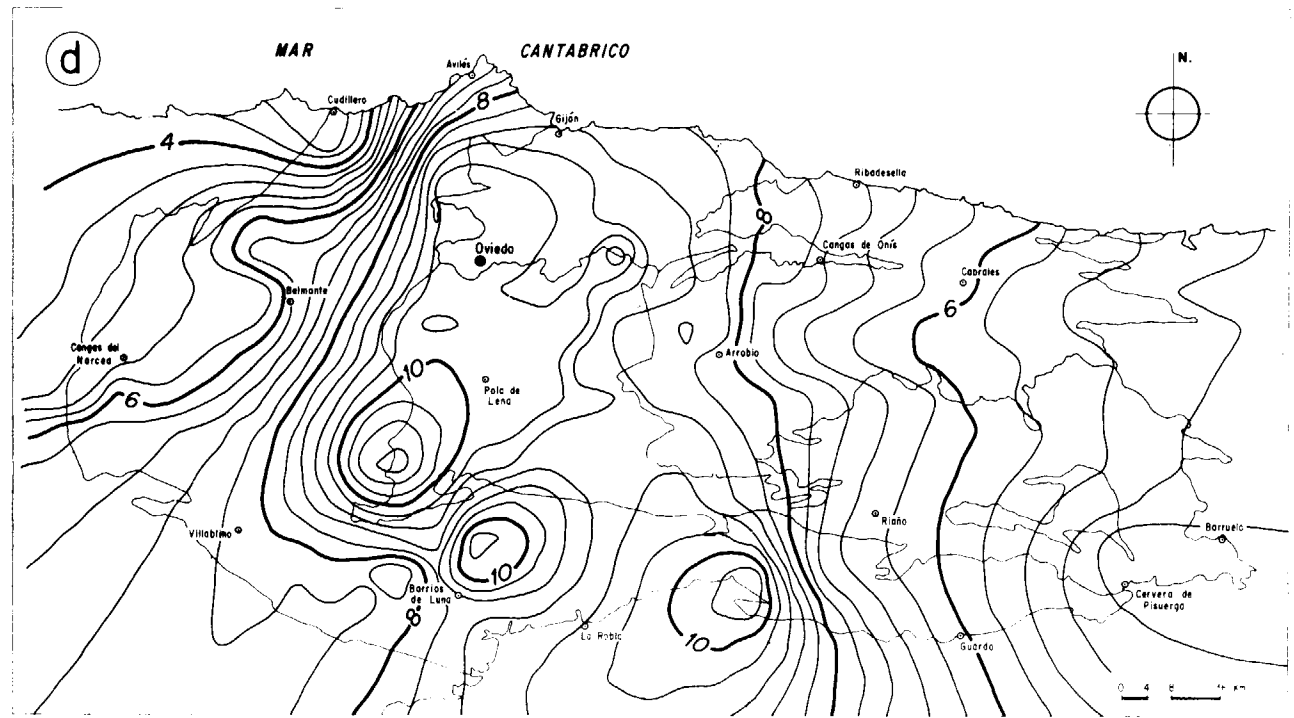
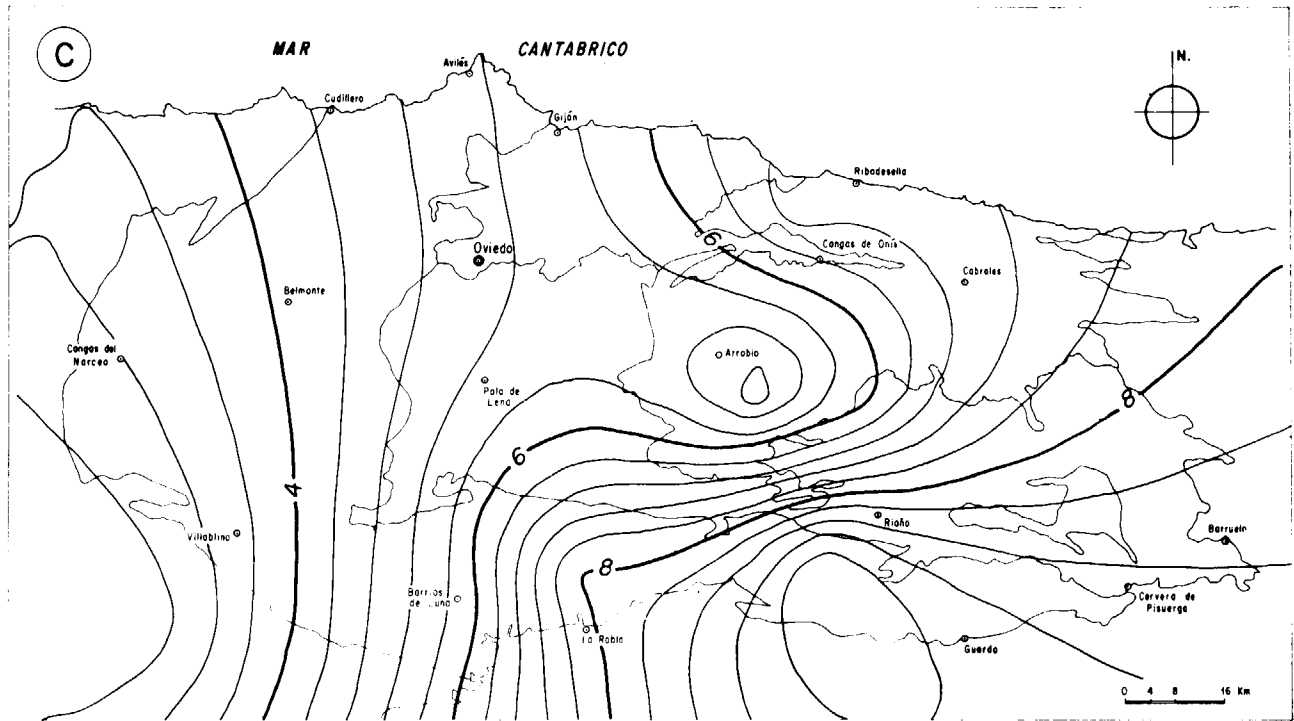


Figura 2.—Diagrama de ESQUEVIN (1969) reflejando la variación de los índices de cristalinidad (IC) de la ilita (KUBLER, 1968) de las muestras estudiadas en función del ambiente metamórfico para cada período estratigráfico. a) Precámbrico. b) Cámbrico. c) Ordovícico. d) Silúrico. e) Devónico. f) Carbonífero Inferior-Medio. g) Carbonífero Superior.







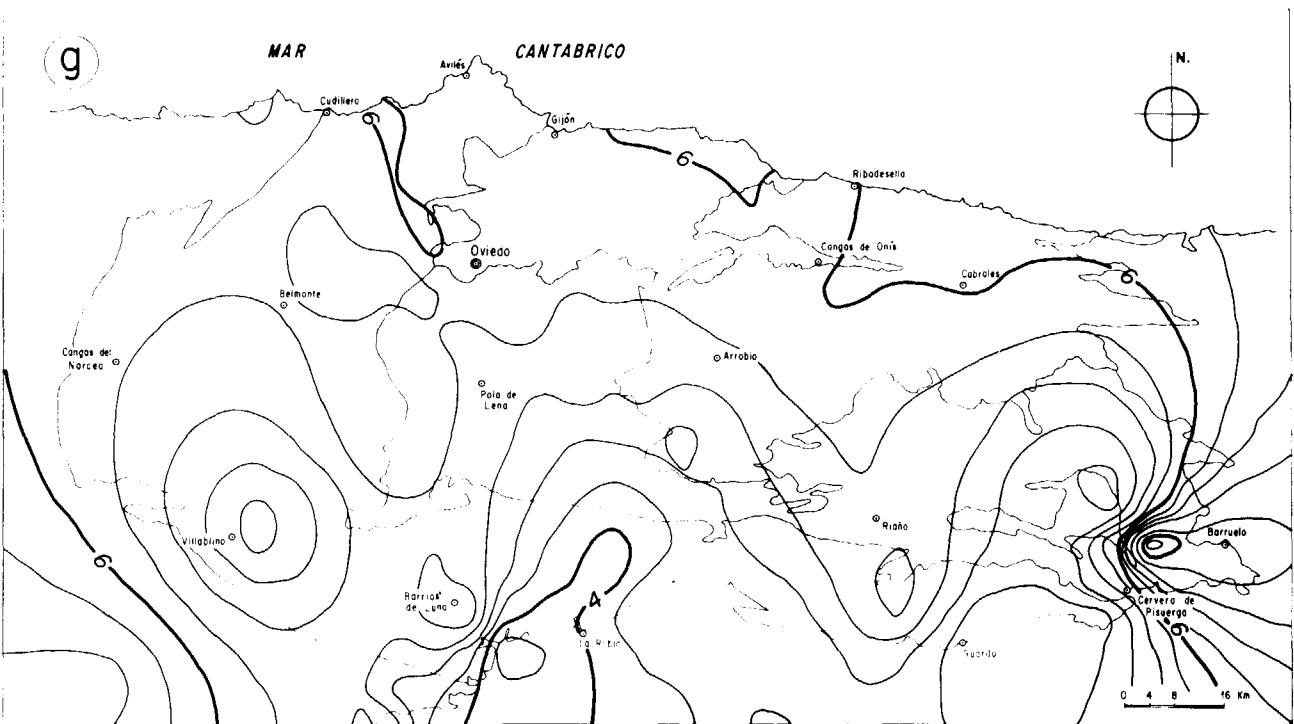


Figura 3.—Distribución de la intensidad del metamorfismo basado en los I.C. de la ilita para cada período estratigráfico: a) Precámbrico. b) Cámbrico. c) Ordovícico. d) Silúrico. e) Devónico. f) Carbonífero Inferior-Medio. g) Carbonífero Superior.

que el Ordovícico refleja la misma situación de aumento del metamorfismo hacia el O y SO, los mínimos se ven desplazados hacia el S y NE.

Mayor complejidad se observa para el Silúrico, en donde los mínimos metamórficos se configuran de acuerdo con la estructura de cerramiento occidental de la Z.C. y el aumento de la intensidad metamórfica se sitúa hacia el este.

El Devónico presenta una distribución heterogénea, con dos zonas de máxima intensidad reflejadas en el área de Cudillero y al este de la localidad de Riaño.

En el Carbonífero Inferior-Medio se refleja un máximo de intensidad en el núcleo de la Cuenca Carbonífera Central y mínimos distribuidos en el sector occidental de la zona y en la cuenca carbonífera de Barruelo, en el extremo suroriental. La irregular distribución en el Carbonífero Superior, sugiere una mayor intensidad metamórfica al oeste de la localidad de La Robla y en las inmediaciones de Barruelo, coincidiendo en este último caso con lo observado para el Carbonífero Inferior.

Si tenemos en cuenta los valores de I.C. que definen el sector anquimetamórfico (3,5 mm a 5,5, mm) y epimetamórfico (<3,5 mm), se puede observar en la misma figura 3 que una amplia zona de la Z.C. presenta ambientes, ya metamórficos, en el Precámbrico, Cámbrico y Ordovícico. En el Silúrico la zona metamórfica queda reducida a dos pequeños sectores en el NO y SE. En el Devónico también hay un mayor carácter diagenético salvo zonas al NO y al este. En el Carbonífero Inferior-Medio el carácter anquizonal se conserva mayoritariamente en toda la Cuenca Carbonífera Central, con gradación a ambientes diagenéticos hacia el oeste y este. En el Carbonífero Superior, el área anquizonal se refleja principalmente en la mitad meridional del Macizo Astúrico.

PARAGENESIS

Una primera visión de la mineralogía presente en las unidades estratigráficas de la Z.C. (tabla 1) refleja la gran diversidad de las paragénesis, al mismo tiempo que se comprueba la presencia

de idénticas paragénesis en diferentes niveles estratigráficos, confirmando la irregular distribución de la intensidad del metamorfismo en el Paleozoico de la Z.C.

En la tabla 2 se incluyen las paragénesis observadas. La paragénesis (I) con  $Qz + I + K + Ab \pm Cl / V \pm Ctd \pm I/C$  se considera epizonal y asimilable a la subfacies inferior de los esquistos verdes en WINKLER (1965). La presencia de Cloritoide es normal en estas condiciones, al igual que interestratificados  $Cl/V$  e  $I/Cl$ , permitiendo la coexistencia de caolinita,  $Cl/V$  e  $I/Cl$  (THOMPSON, 1970; WEAVER, 1984; FREY, 1984).

TABLA 2  
Paragénesis de las muestras estudiadas

I)	$Q + I + K + C + Ab + C/V \pm Ctd \pm I/C$	
II)	$Q + I + K + C + FK \pm C/E \pm Ctd \pm I/C \pm P$	
III)	$Q + I + K + C \pm C/V \pm C/E \pm I/C$	
IV)	$Q + I + K \pm FK \pm Ab \pm C/V \pm V \pm I/C \pm C/E \pm I/E \pm P$	
V)	$Q + I \pm C/E \pm E \pm C/V \pm I/E \pm FK \pm C$	
Q	= Cuarzo	
I	= Iilita	Interestratificados/
K	= Caolinita	
C	= Clorita	
Ab	= Albite	
FK	= Feldespato K	
E	= Esmeclita	
V	= Vermiculita	
P	= Pirofilita	
Ctd	= Cloritoide	

Las condiciones fijadas para esta subfacies, teniendo en cuenta la ausencia de biotita e interestratificados  $I/E$ , se sitúan con T entre 310-360° y P próximas a 2-3 Kb, WINKLER (1965); MAXWELL y HOWER (1967), MCDOWELL y ELDERS (1980), MCMECHAN y PRICE (1982), REYES y CARDILE (1989), NOACH et al. (1987).

Esta paragénesis (I) es frecuente en el Precámbrico y Carbonífero, escasa en el Cámbrico y en muestras aisladas del Ordovícico, Silúrico y Devónico (normalmente en zonas de contacto con niveles estratigráficos Carboníferos que la contienen en abundancia).

La paragénesis (II), con  $Qz + I + K + Cl + FK \pm Ctd \pm Cl/E \pm I/Cl \pm Pirofilita$  pertenece igualmente a la subfacies inferior de esquistos ver-

des, pero se ha optado por distinguirla de la (I) en función de la presencia de FK y pirofilita y estar normalmente exenta de albite. El feldespato potásico se encuentra en pequeña cantidad en todas las muestras. La pirofilita se presenta junto al FK pero siempre en ausencia del cloritoide. Esta paragénesis (II) es mayoritaria en el Carbonífero y esporádica en Cámbrico, Ordovícico, Silúrico y Devónico, estando ausente en el Precámbrico. La asociación  $FK + pirofilita$  sólo se encuentra en el Carbonífero (Inferior-Medio y Superior). Las condiciones físicas de esta paragénesis (II) se pueden considerar similares a la (I) (ZEN, 1960, 1961; WINKLER, 1965; VELDE y KORNPROBST, 1969; TSUZUKI y MIZUTANI, 1971; VELINOV et al., 1983, y FREY et al., 1988).

La paragénesis (III) con  $Q + I + K + Cl \pm Cl/E \pm Cl/V \pm I/Cl$  se presenta en todas las unidades estratigráficas pero es más frecuente en zonas del Devónico y Carbonífero Inferior-Medio. Esta asociación representa para MAXWELL y HOWER (1967) unas condiciones variables de 225-310° C aunque MCDOWELL y ELDERS (1980) las limitan a 275-310° C si están ausentes los interestratificados  $I/E$ .

La desaparición de clorita nos permite distinguir a una paragénesis (IV) con  $Q + I + K \pm V \pm Cl / V \pm I/Cl \pm Cl/E$ . Las condiciones de esta paragénesis estarían fuera del campo de estabilidad de la clorita, que está ausente a partir de 200° (WEAVER, 1989), puesto que la asociación ilita + clorita para NOACH et al. (1987) necesita >200. La presencia en mayor o menor medida de pirofilita nos indicaría que estamos próximos al límite inferior de su campo de estabilidad ( $P < 2kb$  y  $T = 200^\circ$ ) (WEAVER, 1984; TSUZUKI y MIZUTANI, 1971; VELINOV et al., 1983; FREY, 1970; MARUMO, 1989). En un solo caso está presente  $I/E$ , por lo que podemos estar próximos a una T de 200° C, valor que se considera como más normal para su desaparición (ESLINGER y SAVIN, 1973; WEAVER, 1984; HOWER et al., 1976), aunque se admite su existencia hasta los 280° C (PARADIS et al., 1983). En un límite aproximado a los 200° C puede encontrarse la esmeclita (WEAVER, 1989).

Los interestratificados  $Cl/V$  son bastante frecuentes en esta paragénesis, presentando unos límites de estabilidad entre 125-190° C (WEAVER, 1984) mientras que los del tipo  $Cl/E$  se aproximan a los 200-230° C (WEAVER, 1989).

Nos encontramos, pues, con una paragénesis (IV) cuyas condiciones físicas pueden situarse en un valor próximo a los 200° C y P < 2 kb.

Las muestras con ausencia total de caolinita y clorita (niveles diagenéticos) quedan reducidas a un número escaso. La asociación mineral (V) es Qz + I por lo que T inferiores a 200° y superior a 140° son presumibles (CLAYTON et al., 1968; DUNOYER DE SEGONZAÇ (1969); AOYAGI y KAZAMA (1980); WEAVER (1989), dependiendo esta variación de la presencia o no de interestratificados como Cl/V, I/E, Cl/E o bien de esmectita y microclina.

CARACTERISTICAS DEL METAMORFISMO

Como se indicó anteriormente, una valoración de los I.C. de la ilita para los diferentes niveles estratigráficos pone de manifiesto que el Precámbrico, Cámbrico y Ordovícico presentan un desarrollo mayoritario del ambiente epi-anquizonal, en el Silúrico y Devónico es más frecuente el ambiente diagenético y en el Carbonífero el predominio es anquizonal y más reducido epi-zonal.

Estas variaciones de las condiciones metamórficas y secuencias paragenéticas dentro de cada período definen el proceso metamórfico experimentado por los materiales de la Z.C. como un proceso continuo, con una distribución irregular de su gradiente en el tiempo y espacio.

Un tratamiento conjunto de los valores medios de los I.C. determinados para cada período (tabla 3)

TABLA 3

Valores medios de los índices de cristalinidad (IC) y parámetros 060, para cada período estratigráfico

	IC	060
Carbonífero Superior	5,25	1,504
Carbonífero Inferior-Medio	6,47	1,502
Devónico	8,74	1,503
Silúrico	7,23	1,502
Ordovícico	6,33	1,502
Cámbrico	5,42	1,505
Precámbrico	3,95	1,506

y representados en el diagrama de ESQUEVIN (fig. 4) pone de manifiesto un metamorfismo decreciente desde el Precámbrico al Devónico y un nuevo aumento de esta intensidad en el Carbonífero.

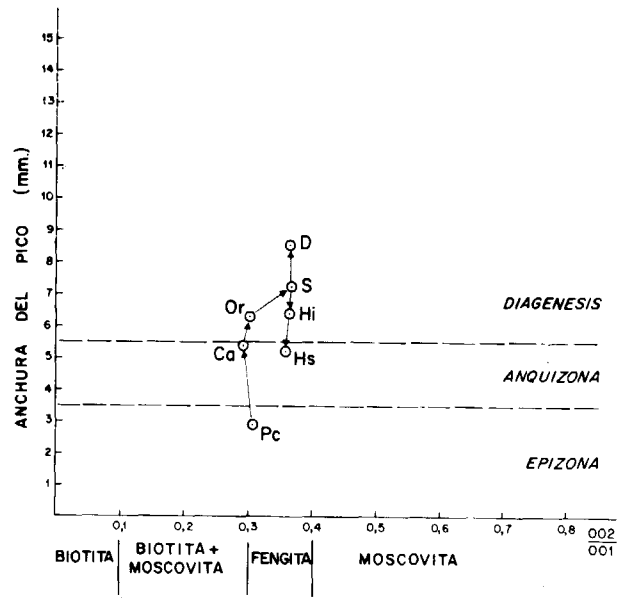


Figura 4.—Diagrama de ESQUEVIN (1969) para los valores medios de los I.C. de la ilita en cada período estratigráfico. Pc = Precámbrico. Ca = Cámbrico. Or = Ordovícico. Si = Silúrico. D = Devónico. H<sub>1</sub> = Carbonífero Inferior-Medio. H<sub>2</sub> = Carbonífero Superior. Los valores medios según tabla 3.

Sin embargo, la correspondencia entre la intensidad del metamorfismo reflejada por los I.C. y la manifestada por las paragénesis no son totalmente concordantes, apreciándose algunas diferencias.

Por otro lado algunos resultados mineralógicos hacen especialmente interesante el metamorfismo de la Z.C. La biotita está ausente en todas las muestras estudiadas, es constante la presencia de caolinita, salvo sectores reducidos, junto a la aparición esporádica de cloritoide y pirofilita, esta última cubriendo un amplio campo de estabilidad. El feldespato K es frecuente aunque en pequeñas cantidades (indicios) pero resulta significativa su aparición constante en el Cámbrico y Carbonífero. Estos resultados de paragénesis y condiciones físicas resultan concordantes con

lo expuesto por GALAN et al. (1985) para el paleozoico de un sector al sur de la Z.C. Para estos autores las paragénesis que encuentran en el Cámbrico, Ordovícico y Carbonífero Superior muestran unas características físicas de 300 a 350° C y 2-3 Kb, mientras que Silúrico, Devónico y Carbonífero Inferior-Medio presentan paragénesis con condiciones próximas a 150° C, 2 Kb, señalando además la presencia constante de la caolinita y más esporádicamente paragonita. Como resultado indican ya la existencia de una inversión metamórfica en el paso Devónico-Carbonífero.

En el estudio realizado por BRIME y PEREZ ESTAUN (1980) y BRIME (1985) en el área de Cabo de Peñas, describen ya una zona de transición de diagénesis a epizona, definiendo el metamorfismo de tipo baja presión y señalando la presencia abundante de caolinita y pirofilita.

La ausencia de montmorillonita es evidente en todos los materiales analizados, hecho que coincide con lo descrito por GUTIERREZ Y TAMARGO (1987) para el sector por ellos estudiado, si bien BRIME (1981) en un estudio sobre el metamorfismo del Paleozoico en las inmediaciones del Pantano de Luna cita montmorillonita junto a caolinita e ilita en el Carbonífero.

La aparición de paragonita ha sido señalada precisamente por GALAN et al. (1978), BRIME y PEREZ ESTAUN (1980), GUTIERREZ y TAMARGO (1987) para diferentes áreas, hecho que no se ha podido confirmar en el muestreo realizado en este trabajo, en el que además las rocas presentan siempre un bajo índice de paragonitización.

Tampoco ha sido posible confirmar la observación de ALLER y BRIME (1985), en un corte realizado en la Cuenca Carbonífera Central, en donde indican la desaparición de caolinita y aumento de clorita hacia el sur. Estos mismos autores encuentran feldespato potásico en las pelitas del Carbonífero.

De acuerdo con lo establecido por BRIME y PEREZ ESTAUN (1980) y ALLER et al. (1987), que señalan una transición diagénesis-anquizona-epizona en el área de Cabo Peñas y a la vista de los resultados aquí obtenidos, es evidente que en el ámbito de la Z.C. este tránsito es algo más irregular y heterogéneo que el obtenido en otros

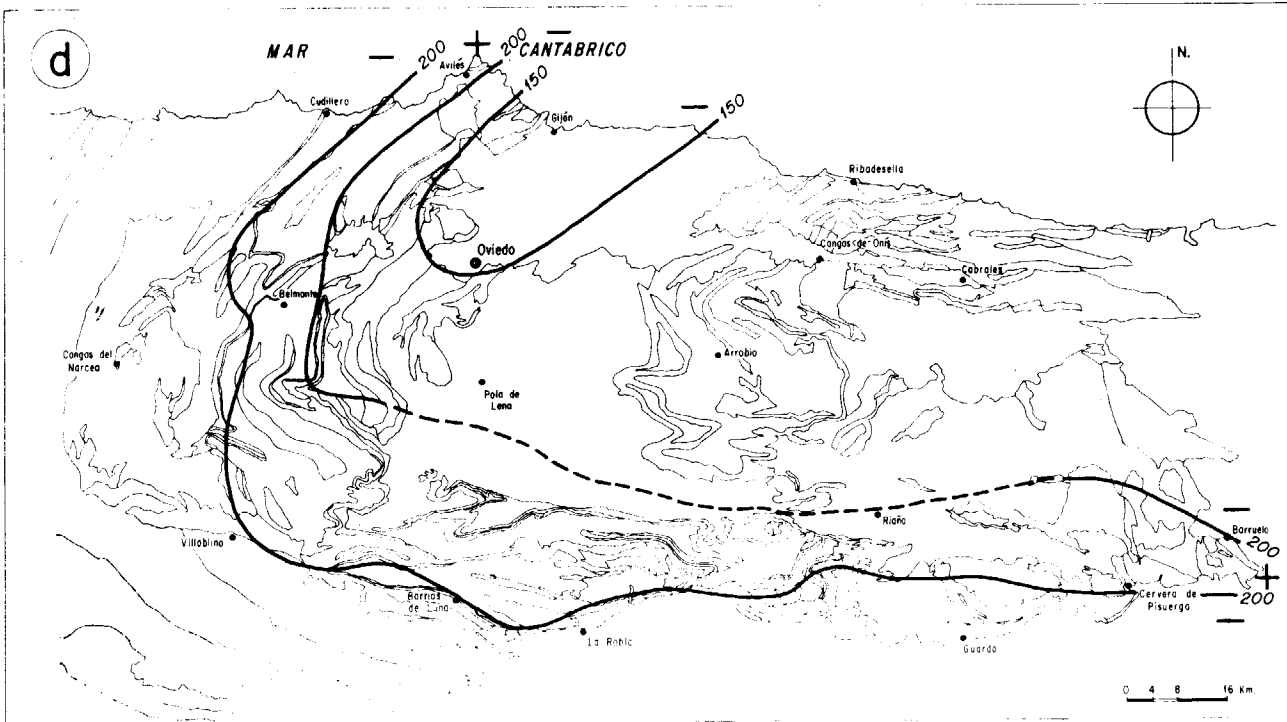
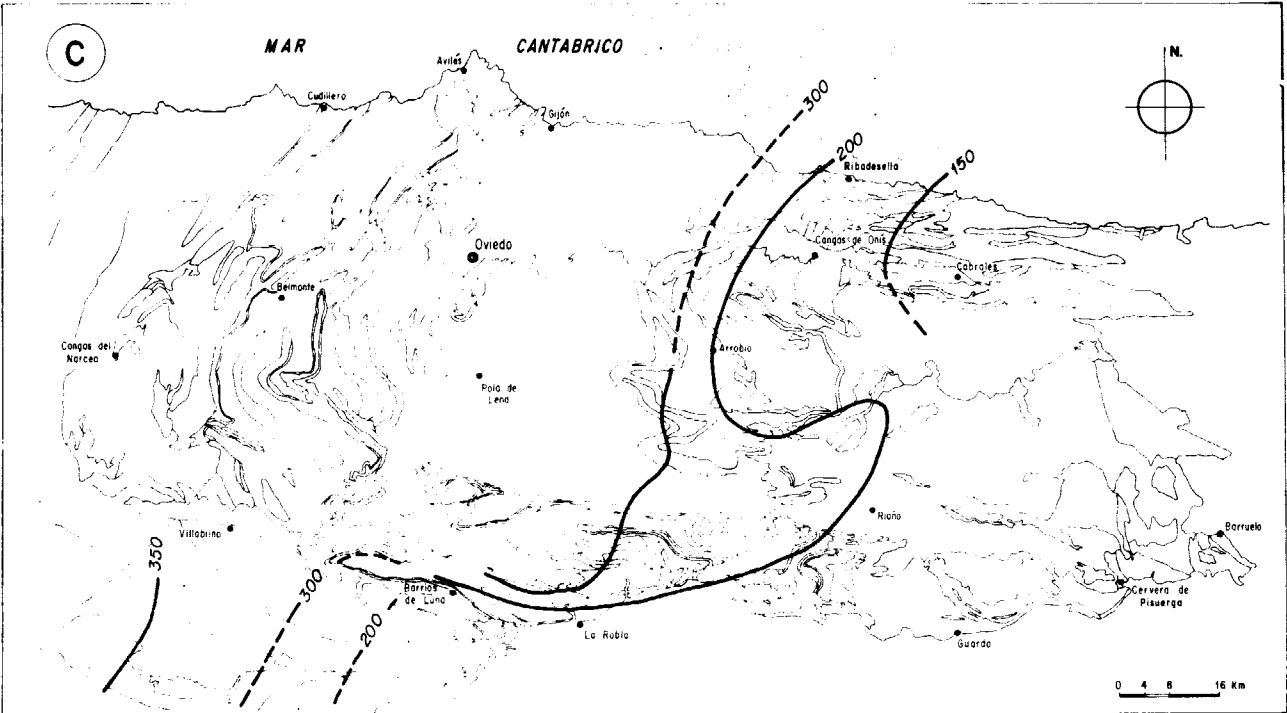
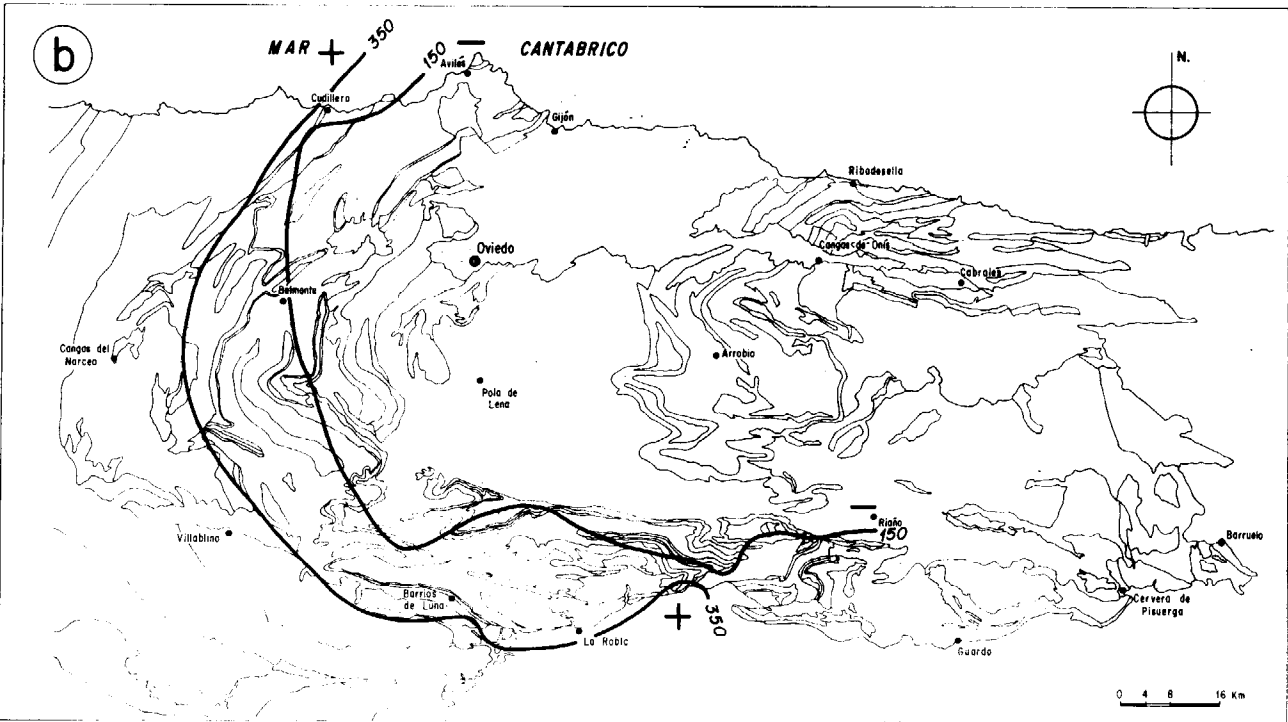
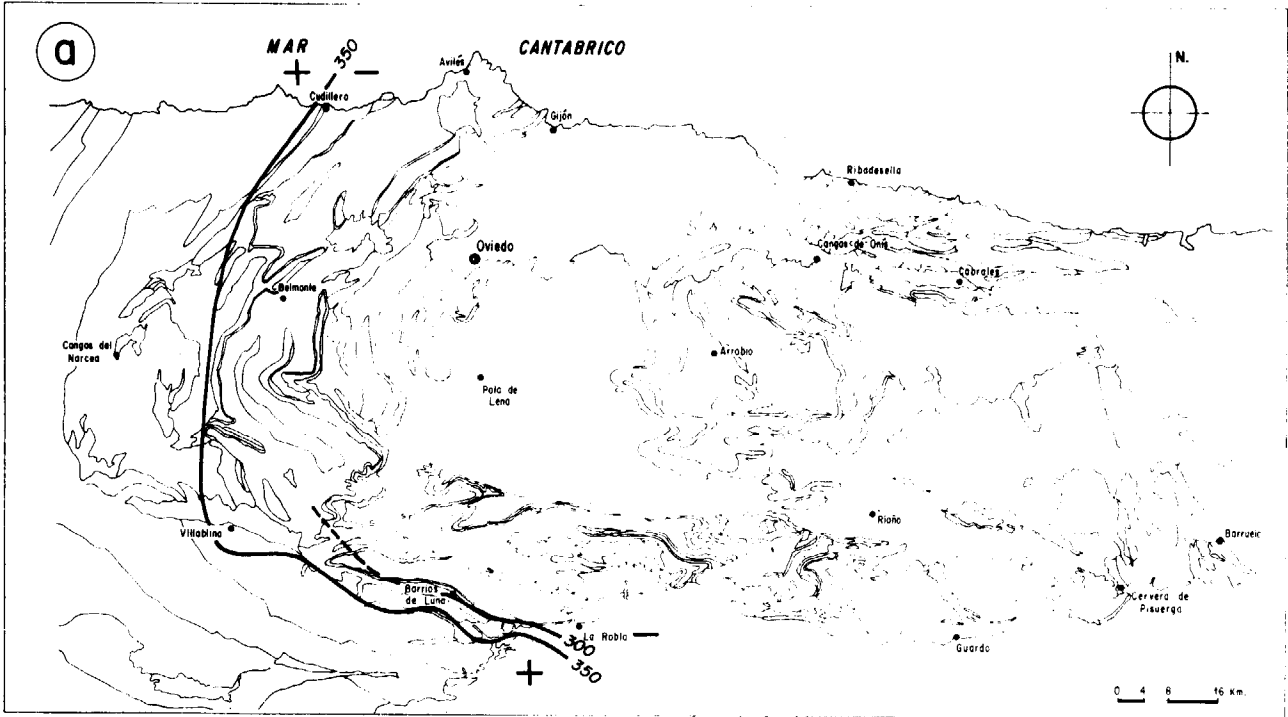
sectores del Macizo Ibérico. Así BRIME (1981) señala la existencia de ambientes diagenéticos y anquizonales en el sector sur de la Z.C.

Por este motivo la asignación que GUTIERREZ y TAMARGO (1987) hacen de determinados minerales a niveles estratigráficos, no parece válida para el conjunto de la Z.C. Así los interestratificados Cl/V no están restringidos al Carbonífero Medio y Superior, sino que su presencia es frecuente en cualquier nivel. La esmectita no se encuentra exclusivamente en el Devónico, pues aunque su presencia es escasa, se ha podido determinar en el Silúrico y Carbonífero. Igualmente la pirofilita la asignan al Carbonífero, mientras que es posible encontrarla también en el Silúrico y Devónico. Contrasta también que estos autores asignen a los interestratificados I/E una presencia constante en todos los niveles, siendo muy escasa en otros sectores de la Z.C.

Aunque el politipo 2M1 de la mica es el más abundante en todos los niveles estratigráficos, un análisis de los valores medios en cada período nos indica que los valores máximos se dan en el conjunto Precámbrico (93,5 por 100), Cámbrico (84 por 100), Ordovícico (88,25 por 100) y Carbonífero (Inferior-Medio 93,69 por 100, Superior 92,18 por 100), bajando estos valores en el Silúrico (80,70 por 100) y Devónico (80,94 por 100), observándose en su variación una relación próxima a la tendencia manifestada por los I.C. de la ilita.

Igualmente las variaciones del valor 060 en cada nivel estratigráfico, hace difícil una evaluación del mismo en relación con el proceso metamórfico, pero un cálculo de los valores medios refleja (tabla 3) máximos para el Precámbrico, Cámbrico y Carbonífero Superior, con valores inferiores y similares para Ordovícico, Silúrico, Devónico y Carbonífero Inferior-Medio. La correspondencia existente entre los valores 060 y la presión (SASSI y SCOLARI, 1974) aumentando al incrementarse la presión, nos permite tener una visión general de las fluctuaciones de P en relación con cada período estratigráfico.

De forma aproximativa en la figura 5 se han representado, de acuerdo con las paragénesis estudiadas, los isotermas correspondientes a cada período estratigráfico. A pesar de las diferencias en cuanto a número y extensión de afloramientos, en función de la representatividad de las iso-



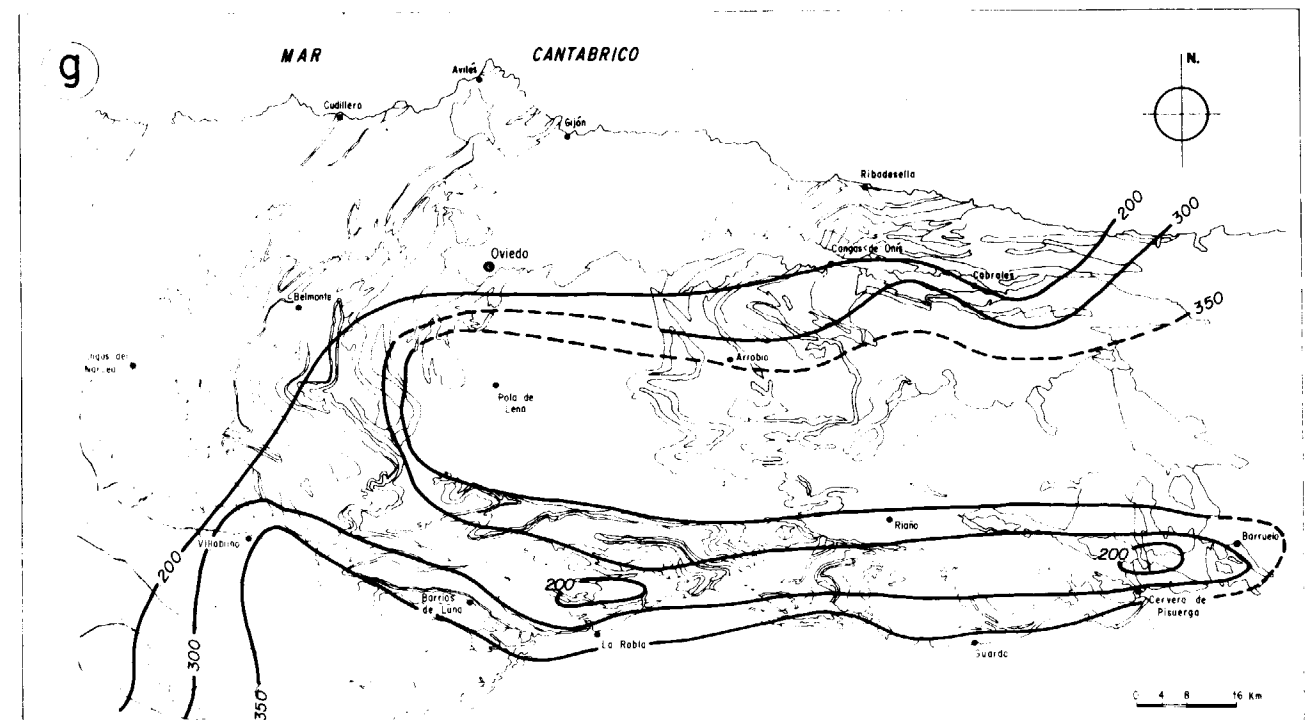
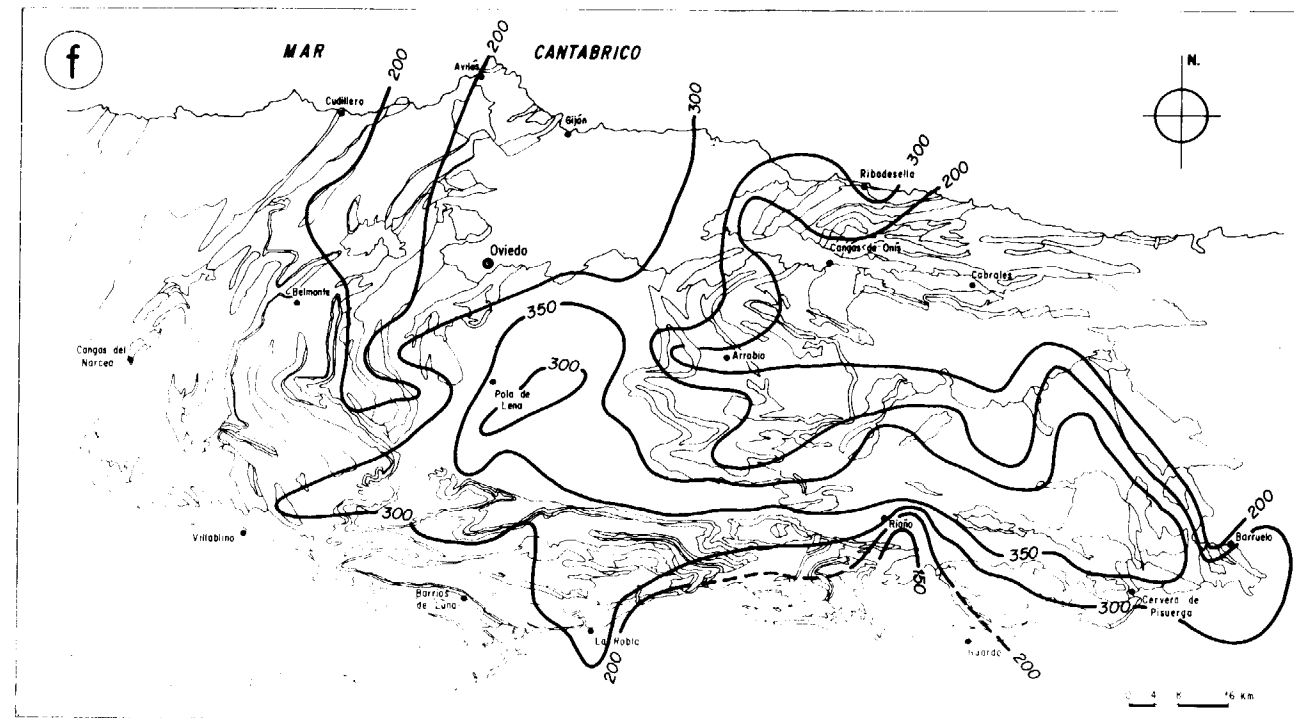
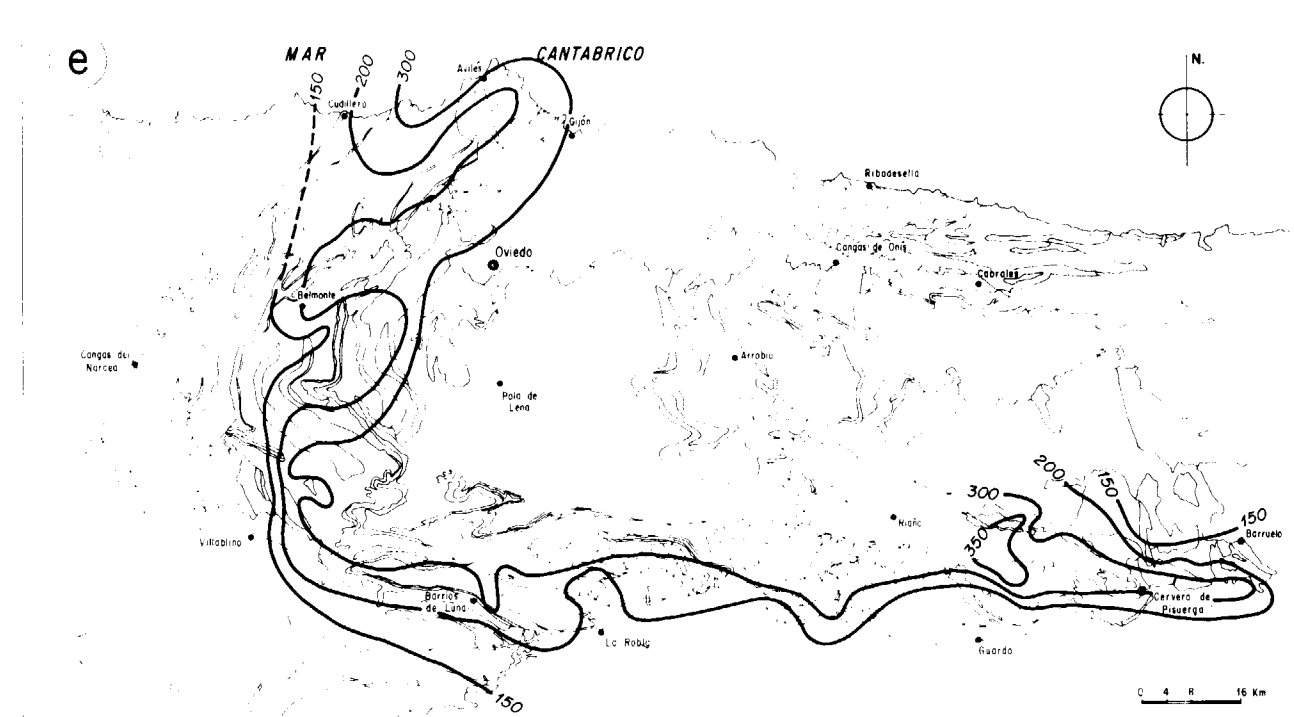


Figura 5.—Representación de isotermas a partir de las paragénesis encontradas en cada periodo estratigráfico: a) Precámbrico. b) Cámbrico. c) Ordovícico. d) Silúrico. e) Devónico. f) Carbonífero Inferior-Medio. g) Carbonífero Superior.

líneas, se observa que en el Precámbrico, Cámbrico y Ordovícico estas isólineas muestran una tendencia al crecimiento hacia el oeste, con dirección aproximada norte-sur ajustándose a la macroestructura sinclinal de la Z.C.

Esta tendencia cambia a partir del Silúrico, pues aunque las isólineas se siguen manteniendo adaptadas al trazado de la macroestructura, el crecimiento térmico se verifica en sentido contrario, es decir, hacia el interior de la Cuenca Carbonífera Central, con un desplazamiento de las curvas de mayor temperatura, desde el Silúrico al Carbonífero Superior.

En la figura 6 se han representado las zonas de aparición de minerales significativos del área metamórfica estudiada. La clorita, salvo casos puntuales, se puede considerar representada en todo el área, excepto en pequeños sectores del extremo noroccidental. El feldespato potásico se circunscribe casi al sector de la Cuenca Carbonífera Central y es coincidente en gran parte con el desarrollo de albita, aunque esta última pre-

senta apariciones esporádicas en el sector oriental.

Pirofilita y cloritoide quedan reducidos a sectores mínimos, salvo la pirofilita que en el borde este presenta mayor desarrollo.

#### RELACION CON OTRAS AREAS HERCINICAS

Las propias características del metamorfismo aquí estudiado, junto con su desarrollo a lo largo de una secuencia paleozoica completa, permite poder relacionarlo con el de otras áreas hercínicas con metamorfismo de bajo y muy bajo grado.

Así, en series epizonales del Sistema Central, APARICIO Y GALAN (1978) determinan paragénesis similares a las encontradas aquí (Paragénesis I y II), aunque exentas de caolinita y con indicios de biotita para los materiales estudiados pertenecientes al Cámbrico, y proponen unas

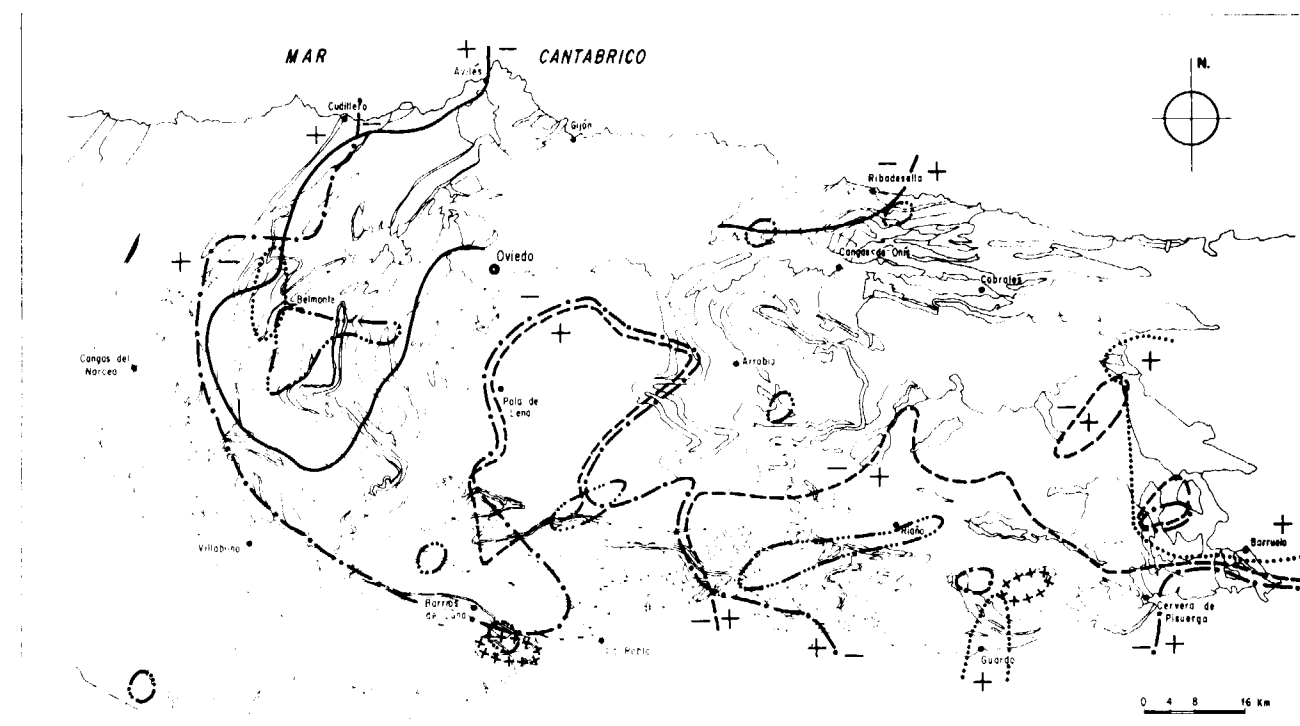


Figura 6.—Representación de las zonas de aparición de los minerales más significativos en el área metamórfica de la Z.C. (++++ Cloritoide, (.....) Pirofilita, (—) Clorita, (---) Feldespato K (— · — · —) Albita y de desaparición de caolinita (— · —).

condiciones de P y T ligeramente superiores a las aquí señaladas.

En la Sierra de la Demanda, donde el Cámbrico se encuentra ampliamente representado, APARICIO et al. (1991a) describen paragénesis similares a la (I), ya con caolinita y reflejando ambientes epizonales, estos autores dan unas condiciones de  $T < 350^{\circ}\text{C}$ .

En el sector central de la Cordillera Ibérica y para rocas pertenecientes al Precámbrico y Cámbrico, APARICIO et al. (1991b) describen igualmente paragénesis parecidas a (I) y (II), pudiendo estar presente la biotita y fijando unas condiciones de  $320^{\circ}\text{C}$  y  $P = 2\text{ Kb}$ . Sin embargo, los I.C. de la ilita de este sector (para el Precámbrico y Cámbrico) presentan valores medios más altos a los obtenidos en la Z.C. y reflejan siempre un ambiente anquizonal.

En contraposición, el Carbonífero en la Z.C. presenta en muchas zonas paragénesis altas (I y II), indicando condiciones de P-T similares a las en-

contradas en el Paleozoico Inferior de las áreas anteriores, las más elevadas de las descritas hasta ahora en materiales carboníferos para el conjunto del Macizo Ibérico.

En este sentido y para el Sistema Central (APARICIO y GALAN, 1980) dan al Estefaniense  $T \approx 150^{\circ}\text{C}$  y  $P < 1\text{ Kb}$ . En la Sierra de la Demanda, APARICIO et al. (1991a) delimitan unas condiciones para el Carbonífero (Westfaliense) de  $T < 175^{\circ}\text{C}$ , mientras que en la Cordillera Ibérica, APARICIO et al. (1991b) establecen  $T < 200^{\circ}\text{C}$  y  $P < 1\text{ Kb}$ .

En el Carbonífero de Menorca (GARCIA et al, 1992) las condiciones físicas se presentan algo más elevadas con  $T \approx 225\text{-}230^{\circ}\text{C}$  y  $P$  a  $1\text{-}2\text{ Kb}$ , destacando estos autores la existencia de una inversión metamórfica entre el Devónico y Carbonífero con paragénesis similares a (I) y (IV) en el Devónico menorquín. No obstante, se debe tener en cuenta que las paragénesis IV y V, presentes igualmente en el Carbonífero de la Z.C., im-

plican también unas condiciones físicas muy próximas a las indicadas para el Carbonífero de otros sectores.

Algunas de las paragénesis encontradas en el Ordovícico-Silúrico y Devónico de la Z.C. (III, IV y V) son correlacionables a las determinadas para niveles estratigráficos similares en diferentes sectores de la Cordillera Ibérica (APARICIO et al., 1988, 1991a), con T próximas a  $300^{\circ}\text{C}$  y P entre  $1\text{-}2\text{ Kb}$ . El hecho apuntado por APARICIO et al. (1988) para el Ordovícico Medio de Sierra Menera que presenta una intensidad metamórfica inferior al Silúrico, puede tener su correspondencia en el Ordovícico de la Z.C. (paragénesis IV y V), en donde está también ausente la clorita y caolinita (paragénesis V), pudiéndose presentar igualmente una inversión metamórfica en algunos casos.

La presencia de pirofilita, restringida hasta ahora al Silúrico y Devónico del Hercínico Ibérico (APARICIO et al., 1988, 1991b), se extiende al Carbonífero en la Z. C. El cloritoide, citado por APARICIO y GALAN (1978) en el Silúrico del sistema Central y por PEREZ ESTAUN (1978) en el Silúrico de la zona astur occidental leonesa, dentro del ambiente metamórfico de bajo grado, ve ampliado su representación estratigráfica en la Z.C. al Precámbrico, Devónico y Carbonífero Superior, pudiendo estar ya presente en la anquizona (FREY, 1984).

## CONCLUSIONES

- La variabilidad de las paragénesis encontradas en la Z.C. para cada período estratigráfico contrasta con la evolución del metamorfismo en otras áreas del Macizo Ibérico con ambientes metamórficos de Bajo y Muy Bajo grado.
- Los valores de los I.C. de Kubler en consonancia con la variabilidad de las paragénesis, muestra una gran dispersión para cada nivel estratigráfico; encontrándose de forma general unos valores medios de los I.C. superiores a los determinados en los mismos niveles estratigráficos de otras áreas del sector Hercínico Ibérico.
- Se observa, al igual que en otros sectores

del Macizo Ibérico, una inversión metamórfica entre el Devónico y el Carbonífero.

- Se considera significativo la aparición de cloritoide y pirofilita en niveles estratigráficos en los que hasta ahora estos minerales no habían sido descritos, así como la presencia casi constante de caolinita y feldespato potásico, especialmente este último en el Cámbrico y Carbonífero.

## AGRADECIMIENTOS

A J. L. Casaseca por su valiosa ayuda en los trabajos de campo. A M. C. Sendra por la composición del trabajo. A J. Arroyo por delineación y a A. Vitoria, M. Castillejo y A. Fernández por los trabajos de laboratorio, especialmente a V. Calleja por la labor informática.

Finalmente, a todas aquellas personas «anónimas» que de una manera u otra contribuyeron a la elaboración y financiación de este trabajo.

## REFERENCIAS

- ALLER, J.; BASTIDA, F.; BRIME, C., y PEREZ ESTAUN, A. (1987): *Cleavage and its relation with metamorphic grade in the Cantabrian zone (Hercynian of North-West Spain)*. Geol. Bull., 40, 255-272.
- ALLER, J., y BRIME, C. (1985): *Deformación y metamorfismo en la parte sur de la Cuenca Carbonífera Central (NO de España)*. Proceedings 10th International Congress of Carboniferous Stratigraphy and Geology. Ed. IGME, tomo 3. Madrid, 541-548.
- AOYAGI, K., y KAZAMA, T. (1980): *Transformational changes of clay minerals zeolites and silica minerals during diagenesis*. Sedimentology, 27, 179-188.
- APARICIO, A.; BRELL, J. M., y DOVAL, M. (1988): *El metamorfismo de los afloramientos paleozoicos de la Sierra de Rata, Mojón Alto, Albarracín, Menera y Ventosa en la Cordillera Ibérica (provincias de Guadalajara y Teruel)*. Bol. Geol. Min., 99, 847-854.
- APARICIO, A.; BRELL, J. M., y GUARAS, B. (1991a): *El metamorfismo hercínico de la Sierra de la Demanda (provincias de Logroño y Burgos)*. Bol. Geol. Min., 102, 240-246.
- APARICIO, A.; BRELL, J. M.; GARCIA, R.; TENA, J., y GOMEZ, J. (1991b): *El metamorfismo de bajo grado en el Paleozoico del sector central de la Cordillera Ibérica*. Bol. Geol. Min., 102, 735-747.
- APARICIO, A., y GALAN, E. (1978): *El metamorfismo de*



bajo grado en el área central del Macizo Hespérico Español (Sistema Central - Toledo). Bol. Geol. Min., 89, 475-486.

APARICIO, A., y GALAN, E. (1980): *Las características del metamorfismo hercínico de bajo y muy bajo grado en el sector oriental del Sistema Central (provincia de Guadalupe)*. Est. Geol., 36, 75-84.

BEVINS, R.; ALDERTON, D. H. M., y HORAK, J. M. (1988): *Chloritoid from low-grade pelitic rocks in North-Wales*. Min. Mag., 52, 394-396.

BRIME, C. (1981): *Post depositional transformation of clays in Paleozoic rocks of Northwest Spain*. Clay Minerals, 16, 421-424.

BRIME, C. (1985): *A diagenesis to metamorphism transition in the Hercynian of north-west Spain*. Min. Mag., 49, 481-484.

BRIME, C., y PEREZ ESTAUN, A. (1980): *La transición diagenesis-metamorfismo en la región de Cabo de Peñas*. Cuad. Lab. Geológico de Laxe, 1, 85-97.

CLAYTON, R. N., MUFFER, L. J. P., y WHITE, D. E. (1968): *Oxygen isotope study of calcite and silicates of the River Ranch N 01 Well Salton Sea Geothermal field, California*. Amer. J. Sci., 266, 968-979.

DUNOYER DE SEGONZAÇ, G. (1969): *Les minéraux argileux dans la diagenèse passage au métamorphisme*. Mem. du service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine, 29, 317 pp.

ESLINGER, E., y SAVIN, S. M. (1973): *Mineralogy and oxygen isotope geochemistry of the hydrothermally altered rocks of the Ohaki-Broadlands New Zealand geothermal area*. Am. J. Sci., 273, 240-267.

ESQUEVIN, J. (1969): *Influence de la composition chimique des illites sur leur cristallinité*. Bull. Centre Rech. Pau SNAPA, 3, 147-154.

FREY, M. (1970): *The step from diagenesis to metamorphism in pelitic rocks during alpine orogenesis*. Sedimentology, 15, 261-279.

FREY, M. (1984): *Very low-grade metamorphism of clastic sedimentary rocks*. En: Low temperature metamorphism. Ed. Frey M., Blackie & Son Ltd. Glasgow, 9-58.

FREY, M.; SAUNDERS, J., y SCHWANDER, H. (1988): *The mineralogy and metamorphic geology of low-grade sediments, Northhorn Range, Trinidad*. Journal of Geological Society, 145, 563-576.

GALAN, E.; APARICIO, A., y DOVAL, M. (1985): *Characteristics of the Hercynian Metamorphism in the Pola de Gordon Matallana Coal basin, Leon Province, Spain*. Proceedings Clays and Clay Minerals, 29-A, 352-353.

GALAN, E.; APARICIO, A., y VILLEGAS, F. (1978): *El metamorfismo de muy bajo grado (anquimetamorfismo) de la cuenca carbonífera Ciñera-Matallana (provincia de León)*. Est. Geol., 34, 505-510.

GARCIA, R.; BRELL, J. M., y APARICIO, A. (1992): *El metamorfismo del Paleozoico de la Isla de Menorca*. Bol. Geol. Min., 103, 564-569.

GUTIERREZ, M., y TAMARGO, J. L. (1987): *Características mineralógicas y geoquímicas de las pizarras de la vertiente meridional de la zona Cantábrica (NO de España)*. Bol. Geol. Min., 98, 82-99.

HOWER, J.; ESLINGER, E. V.; HOWER, M. E., y PERRY, E. A. (1976): *Mechanism of burial metamorphism of argillaceous sediment, 1 Mineralogical and Chemical evidence*. Geol. Soc. Amer. Bull., 87, 725-737.

JULIVERT, M. (1983a): *La estructura de la zona Cantábrica*. En Geología de España, tomo 1, 339-380.

JULIVERT, M. (1983b): *El Carbonífero: evolución de la sedimentación y desarrollo de la orogénesis hercíniana*. En: Geología de España, tomo 1, IGME, 311-338.

JULIVERT, M. (1983c): *Los tiempos precámbricos y paleozoicos. El ciclo Hercínico. Generalidades*. En: Geología de España, tomo 1, IGME. Madrid, 59-72.

JULIVERT, M., y TRUYOLS, J. (1983): *El Ordovícico en el Macizo Ibérico*. En: Geología de España, tomo 1, IGME, 192-245.

JULIVERT, M.; TRUYOLS, J., y VERGES, J. (1983): *El Devónico en el Macizo Ibérico*. En: Geología de España, tomo 1, IGME, 265-310.

KISCH, H. J. (1991): *Illite crystallinity: recommendations on sample preparation, X-ray diffraction setting and interlaboratory samples*. Journal of metamorphic geology, 9, 665-670.

KUBLER, B. (1968): *Evaluation quantitative de métamorphisme par la cristallinité de l'illite. Etat des progrès réalisés ces dernières années*. Bull. Centre, Rech. Pau SNPA, 2, 385-397.

MARTINEZ, F. J., y GIL IBARGUCHI, I. (1983): *El Metamorfismo en el Macizo Ibérico*. En: Geología de España, tomo 1, IGME. Madrid, 555-569.

MARUMO, K. (1989): *Genesis of kaolin minerals and pyrophyllite in kuroko deposits of Japan: Implications for the origins of the hydrothermal fluids from mineralogical and stable isotope data*. Geochimica et Cosmochimica Acta, 53, 2915-2924.

MAXWELL, D. T., y HOWER, J. (1967): *High-grade diagenesis and low-grade metamorphism of illite in the Precambrian belt series*. Amer. Min., 52, 843-857.

MCDOWELL, S. D., y ELDERS, W. A. (1980): *Authigenic layer silicate minerals in borehole Elmore 1, Salton Sea geothermal field, California USA*. Contr. Min. Petr., 74, 293-310.

MCMECHAN, M. E., y PRICE, R. A. (1982): *Superimposed low-grade metamorphism in the Mount Fisher area southeastern British Columbia. Implications for the East Kootenay Orogeny*. Can. J. Earth. Sci. 19, 476-489.

NOACH, Y.; GIROIR, G., y GIRARD, J. P. (1987): *Chlorites as indicators of Paleoenvironments*. En: Geochemistry and mineral formation in the Earth surface. Ed. R. Rodríguez, Y. Tardy. CSIC-CNRS, 639-652.

PARADIS, S.; VELDE, B., y NICOL, E. (1983): *Chloritoid—Pyrophyllite—Rectorite facies rocks from Brittany, France*. Contr. Min. Petr., 83, 342-347.

PEREZ ESTAUN, A. (1973): *Datos sobre la sucesión estratigráfica del Precámbrico y la estructura del extremo sur del antiforme del Narcea (NO de España)*. Brevioria Geológica Asturica, 17, 5-16.

PEREZ-ESTAUN, A. (1978): *Estratigrafía y estructura de la rama S. de la zona asturoccidental leonesa*. Mem. Inst. Geol. Min. Esp., 92, 151 pp.

PEREZ ESTAUN, A., y BASTIDA, F. (1990): *Cantabrian zone: structure*. En Pre-mesozoic Geology of Iberia. Ed. R. Dallmeyer, E. Martínez García. Springer, Berlín.

PEREZ ESTAUN, A.; BASTIDA, F.; ALONSO, J. L.; MARQUINEZ, J.; ALLER, J.; ALVAREZ-MARRON, J.; MARCOS, A., y PULGAR, J. A. (1988): *A thin-skinned tectonics model for an arcuate fold and thrust belt: The Cantabrian zone*. Tectonics, 7, 517-538.

PEREZ-ESTAUN, A.; BASTIDA, F.; ALONSO, J. L.; MARQUINEZ, J.; ALLER, J.; ALVAREZ-MARRON, J.; MARCOS, A., y PULGAR, J. A. (1991): *The Cantabrian zone an interpretation for an arcuate foreland thrust belt*. Tectonophysics, 191, p. 435.

REYES, A. G., y CARDILE, C. M. (1989): *Characterization of clay scales forming in Philippine geothermal wells*. Geothermics, 18, 429-446.

RODRIGUEZ-FERNANDEZ, L. R. (1983): *Evolución estructural de la zona cantábrica durante el Carbonífero*. En: Carbonífero y Pérmico de España. IGME. Madrid, 151-162.

SANCHEZ DE LA TORRE, L.; AGUEDA VILLAR, J. A.; COLMENERO NAVARRO, J. R.; GARCIA RAMOS, J. C., y GONZALEZ LASTRA, J. (1983): *Evolución sedimentaria y paleogeográfica del Carbonífero en la Cordillera Cantábrica*. En: Carbonífero y Pérmico de España. IGME. Madrid, 133-150.

SASSI, F. P., y SCOLARI, A. (1974): *The b<sub>0</sub> value of the potassic white micas as a barometric indicator in low-*

*grade metamorphism of pelitic schists*. Contr. Min. Petr., 45, 143-152.

THOMPSON, A. B. (1970): *A note on the kaolinite pyrophyllite equilibrium*. Am. J. Sci., 268, 454-458.

TRUYOLS, J. (1983): *El Carbonífero del NO de España. Introducción*. En: Carbonífero y Pérmico de España. IGME. Madrid, 25-30.

TRUYOLS, J., y JULIVERT, M. (1983): *El Silúrico en el Macizo Ibérico*. En: Geología de España, tomo 1. IGME. 246-264.

TSUZUKI, Y., MIZUTANI, S. (1971): *A study of rock alteration process based on kinetics of hydrothermal experiment*. Contr. Min. Petr. 30, 15-33.

VELINOV, I.; GOROVA, M.; TCHOLAKOV, P.; TCHOUNER, D., e IANEVA, I. (1983): *Secondary quartzites developed after Cretaceous volcanics from Zaza zone, Cuba*. Geologica balcanica, 13, 6, 53-68.

VELDE, B., y KORNPROBST, J. (1969): *Stabilité des silicates d'alumine hydratés*. Contr. Min. Petr., 21, 63-74.

WEAVER, Ch. E. (1960): *Posible uses of minerals in search for oil*. Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol., 44.

WEAVER, Ch. E. (1984): *Shale-slate metamorphism in southern Appalachians*. Developments in Petrology, 10, Elsevier. Nueva York, 239 pp.

WEAVER, Ch. E. (1989): *Clays, Muds and Shales*. Developments in sedimentology, 44, Elsevier. Nueva York, 819 pp.

WINKLER, H. G. H. (1965): *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Springer-Verlag. New York. 220 pp.

ZAMARREÑO, I. (1983): *El Cámbrico en el Macizo Ibérico*. En: Geología de España, tomo 1. IGME. 117-191.

ZEN, E. an (1960): *Metamorphism of Lower Paleozoic rocks in the vicinity of the Taconic range in West-central Vermont*. Amer. Min., 45, 129-175.

ZEN, E. an (1961): *Mineralogy and Petrology of the system Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O in some pyrophyllite deposits of North Carolina*. Amer. Miner., 46, 52-66.

Original recibido: Junio de 1992.  
Original aceptado: Enero de 1993.